

Sistema de monitorização e controlo de ventilador doméstico

João Pedro Pires da Silva

Dissertação de Mestrado

Orientadores:

Doutora Maria Teresa Restivo

Doutor Paulo Augusto Ferreira de Abreu



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Especialização em Automação

Porto, 19 de fevereiro de 2018

À minha família.

Resumo

Atualmente, quanto maior o progresso tecnológico, mais necessidades se criam para colmatar as carências de conforto e de saúde ambiental almejadas pelo ser humano. Neste âmbito, inclui-se a monitorização e controlo da qualidade do ar interior em habitações, para os quais esta dissertação procura contribuir.

O objetivo desta dissertação visa a conceção de um sistema de controlo para um ventilador de baixa potência de uma forma controlada, isto é, que se adeque constantemente e de uma forma automática às necessidades controlando a velocidade de ventilação. Através da determinação da temperatura de *dewpoint* ou ponto de orvalho, calculada a partir dos valores recebidos de temperatura e humidade relativa provenientes do sensor existente na divisão, e dos dados de data e hora recebidos do módulo relógio de tempo real, pode ser definida um modo de funcionamento para controlar automaticamente a velocidade do ventilador. O sistema integra quatro modos de controlo distintos.

Além disso, quando o sistema está ligado a um *router*, os dados podem permanecer armazenados numa base de dados alojada num servidor acessível por página *Web*, para fácil acesso e posterior estudo do histórico das leituras obtidas e monitorização *online* do ar ambiente.

Em suma, o sistema desenvolvido permite monitorizar e testar diferentes modos de funcionamento para controlo da qualidade do ar ambiente em habitações com um ventilador de baixa potência. Ainda possui a flexibilidade de poder incluir mais modos de funcionamento adequados para cada espaço a testar com a análise dos dados recolhidos.

Control and monitoring system of a domestic fan

Abstract

At present, the increase of knowledge and technological development help to satisfy many basic needs and to improve living standards, contributing to provide, namely, comfort and healthy environmental conditions. In this context, the monitoring of home indoor air quality is included. The development of a flexible solution related to this topic is addressed within this MSc thesis.

Therefore, the aim of this dissertation is to design a control system for a low power inline duct fan, allowing a constant adaptation to the needs by controlling the fan velocity in a selected control mode.

By determining the dew point, from the room temperature and relative humidity values measured by a room sensor, and date and time data received from the real-time module, it is possible to automatically control the inline duct fan velocity. The system currently offers four different ventilation control modes. In addition, while the controller is connected to a router, the data is stored in a database located on a server that can be accessed by a Web page, enabling easy access and historical data for complementary studies.

In conclusion, the developed system permits to monitor and test different modes for home indoor air quality control through low power inline duct fans, with the flexibility to include further control modes adequate for each specific room under evaluation, as a result of the collected data analysis.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professora Maria Teresa Restivo e Professor Paulo Augusto Ferreira de Abreu pelo apoio, dedicação e toda a disponibilidade demonstrada ao longo do período de realização da dissertação.

Um obrigado à minha família, nomeadamente aos meus pais Conceição Pires e Vitorino Silva, e à minha irmã Carla Silva pelo apoio e amor incondicionais.

Um agradecimento à equipa presente no laboratório, em particular ao Tiago Andrade por toda a paciência, conselhos, ensinamentos e apoio indispensáveis.

Um obrigado ao Paulo Costa por toda a camaradagem.

Um obrigado ao tio Janica, Hugo Matos, Mário Lameiras e Manuel Zamith, não só pela grande amizade como também pela transferência de conhecimentos úteis ao desenvolvimento da dissertação.

Um grande obrigado a todos.

Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Qualidade do Ar Interior e seus efeitos	2
1.2	Eficiência Energética	5
1.3	Ventilação controlada	5
1.4	Objetivos do trabalho	6
1.5	Estrutura da dissertação	6
2	Pesquisa de soluções tecnológicas	9
2.1	Introdução	9
2.2	Controlador Leviton IPHS5	9
2.3	GSE Digital Fan Controller	10
2.4	Controlador ECOWATT	11
2.5	Controlador CB1 TAC3	11
2.6	Controlador A-TH6	12
2.7	Controlador Ec Vent	13
2.8	Controlador SYNCO 200 RLU236	14
2.9	Conclusão	15
3	Sistema de controlo do ventilador	17
3.1	Introdução	17
3.2	Arquitetura e especificações do sistema	17
3.3	Hardware do controlador	18
3.4	Software de programação	19
3.5	Sensores de temperatura e humidade	20
3.6	Visor LCD	21
3.7	Módulo de Relógio de tempo real (RTC)	22
3.8	Armazenamento de dados	23
3.9	Ventilador doméstico	24
3.10	Driver	25
3.11	Conclusão	25
4	Implementação da solução de <i>hardware</i>	27
4.1	Introdução	27
4.2	Ligação do hardware e protocolos de comunicação	27
4.3	Ligação do Driver	29
4.4	Caixa e estrutura final do sistema	30
4.5	Conclusão	31
5	Modos de funcionamento e programação	33
5.1	Introdução	33
5.2	Informação em tempo real disponível em display LCD	33
5.3	Ação de controlo do ventilador doméstico	34
5.4	Armazenamento em base de dados online	43
5.5	Conclusão	47
6	Testes experimentais	49
6.1	Introdução	49
6.2	Teste de aferição da relação Referência/Velocidade do ventilador	49
6.3	Ensaio de utilização do sistema	50
6.4	Conclusões	54
7	Conclusões e trabalhos futuros	55
7.1	Conclusões	55
7.2	Trabalhos Futuros	56
8	Referências	57

Índice de figuras

Figura 1 - Mofo/bolor em habitações	2
Figura 2 - Leviton IPHS5-1LW[7].	9
Figura 3 - GSE Digital Fan Controller [8].....	10
Figura 4 - ECOWATT AC/ 4 A[9].....	11
Figura 5 - Ventilador TAC Erp com controlador CB1TAC3 FULL integrado[10]	12
Figura 6- Temperature and humidty Controller A-TH6 [11]	12
Figura 7 - EC VENT unidade central e unidade de <i>display</i> [12].....	13
Figura 8 - Synco 200 RLU236 [13].....	14
Figura 9 – Arquitetura global do sistema	18
Figura 10- <i>Arduino Uno</i> R3[14].	18
Figura 11 - <i>Arduino IDE</i>	20
Figura 12 – Sensor BME280 da Bosch [16].....	21
Figura 13– LCD <i>display</i> ElectroFun com módulo I2C[17].....	21
Figura 14– Componentes do módulo I2C do <i>display</i>	22
Figura 15– RTC DS3231 [18]	23
Figura 16 - <i>Arduino Ethernet SHIELD v2</i>	23
Figura 17 - Ventilador S&P -TD 160/100	24
Figura 18- <i>Driver</i> utilizado.....	25
Figura 19 - Interligação dos componentes ao <i>Arduino Uno</i>	27
Figura 20 - <i>Ethernet Shield v2</i> conectado ao microcontrolador <i>Arduino Uno</i>	28
Figura 21 - Desenho esquemático das ligações do circuito.....	28
Figura 22 - desenho final da placa de circuito impresso e sua inserção no sistema <i>Arduino</i> ...	29
Figura 23 - Esquema ca conversão de sinal do <i>driver</i>	29
Figura 24 - PWM com ciclo de trabalho ativo a 50% com tensão média de saída a 2,5 V.....	30
Figura 25 - Simulação da montagem dos componentes no caixa concebida.....	30
Figura 26 - Versão final do dispositivo	31
Figura 27 - Mensagem inicial do sistema.....	33
Figura 28 – Código para disponibilização de dados em <i>display LCD</i>	33
Figura 29 - Disponibilização da informação em tempo real no <i>display LCD</i>	34
Figura 30 – Código de programação para disponibilização de valores em tempo real no LCD <i>display</i>	34
Figura 31 - Modo Contínuo	36
Figura 32 – Relação conceptual entre a referência fornecida ao <i>driver</i> e velocidade do ventilador	37
Figura 33 - Componente do código referente ao modo Contínuo	37

Figura 34 - Definição dos valores de DTmax e DTmin no código de programação.....	37
Figura 35 - Escolha de valores de velocidade no início do código	38
Figura 36 - Modo discreto	39
Figura 37 - Código para definição do modo de controlo de ventilação	39
Figura 38 – Código para definição do modo “horário”	40
Figura 39 - Modo Horário	41
Figura 40 - Componente do código referente ao modo Contínuo-Horário	41
Figura 41 - Recetor de infravermelhos e comando	42
Figura 42 - Integração do recetor de infravermelhos	42
Figura 43 - Componente do código referente à associação de modos de funcionamentos a códigos infravermelhos.....	43
Figura 44 - Base de dados SQL.....	43
Figura 45 - Ficheiro <i>connect.php</i>	44
Figura 46 - Ficheiro <i>index.php</i>	44
Figura 47 - Ficheiro <i>add.php</i>	45
Figura 48 -Alojamento dos 4 ficheiros no <i>Filezilla</i>	45
Figura 49 - Componente do código referente ao envio de dados para a base de dados	46
Figura 50 - Aspeto final da página <i>Web</i>	46
Figura 51 - Medição de velocidade em rpm com tacómetro ótico	49
Figura 52 - Gráfico da conversão de sinal de referência ao <i>driver</i> em velocidade em rpm.	50
Figura 53 - Casa de banho doméstica usada em ensaios	51

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Comparação dos diferentes controladores de ventilação controlada.....	15
Tabela 2 - Características do microcontrolador <i>Arduino Uno</i>	19
Tabela 3 - Comparação de caraterísticas de diferentes sensores	20
Tabela 4 - Comparação entre os RTCs DS1307 e DS3231	22
Tabela 5 - Características principais do Ventilador TD 160/100 N SILENT	24
Tabela 6 - resultados do teste para determinação de velocidade de ventilação.....	50
Tabela 7 - Resultados do Ensaio 1.....	51
Tabela 8 – Resultados do Ensaio 2.1	52
Tabela 9- Ensaio 2.2	53
Tabela 10 - Resultados do Ensaio 3.....	53
Tabela 11 - Resumo de resultados dos ensaios realizados.	54

Lista de siglas e acrónimos

ASHARE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer

COVs - Compostos Orgânicos Voláteis

DPOC - Doença pulmonar obstrutiva crónica

DCV - Demand controlled ventilation

FEUP - Faculdade de Engenharia do Porto

HVAC/ AVAC - Heating, ventilation and air conditioning / Aquecimento, ventilação e ar condicionado

LCD Liquid Crystal display

OMS - Organização Mundial de Saúde

QAI - Qualidade do ar interior

URE - Utilização racional de energia

1 Introdução

Considerando que as exigências do ser humano, atualmente e nos países mais industrializados, evoluem à velocidade dos progressos científicos e tecnológicos, cria-se desta forma um ciclo evolutivo imparável. Maior progresso origina mais apetências e necessidades, e estas implicam desafios na evolução científica e tecnológica e consequente urgência de inovação. Há vinte anos o mundo vivia praticamente sem telemóveis e a comunicação não deixava de existir, embora implicasse meios mais restritos e «menos à mão». Hoje, dificilmente prescindimos dos telemóveis. E, se o conforto não é negligenciável, as questões de higiene e bem-estar têm vindo a assumir socialmente um papel de protagonistas, já que, para além disso, não são indissociáveis dos problemas da saúde. Nunca foi dada atenção, até há relativamente pouco tempo, que há materiais utilizados nas cozinhas, como as colheres de madeira, as panelas de alumínio ou o tradicional mármore das bancas, que são facilitadores de contaminação de bactérias e germes e, por conseguinte, geradores de doenças de diferentes graus de perigosidade. Porém, hoje em dia, estes instrumentos são objeto de legislação a nível industrial e a sua utilização é punida por coimas mais ou menos elevadas ou até mesmo por encerramento de estabelecimentos ligados à produção ou consumo alimentar.

Conclui-se, assim, que saúde e conforto começam a ser os pilares das sociedades que já ultrapassaram as suas necessidades básicas. Portanto, manter a exigência elevada nestes domínios implica, obrigatoriamente, uma atitude preventiva e de antecipação que contrarie o velho ditado “casa roubada, trancas na porta”.

Neste contexto, um ventilador doméstico autónomo que concorra para controlar a qualidade do ar interior (QAI) que respiramos e, simultaneamente, ajude a garantir conforto térmico, sem a preocupação da falibilidade humana, passará a ser uma preocupação essencial e quotidiana. Não faltará muito para passar a assumir um estatuto elevado quer nos equipamentos imobiliários quer na habitação privada. Por exemplo, preocupações com a qualidade do ar que se respira estão hoje na base das restrições dos comportamentos tabagísticos em vigor numa grande parte do mundo. E, em termos introdutórios, não se pode esquecer que o desenvolvimento de uma solução para um controlador baseado em solução embebida para ventilador doméstico, o projeto realizado e de que esta dissertação pretende dar conta, poderá contribuir para proporcionar condições de conforto e salubridade e mesmo uma eficiência energética considerável que dependerá da área ou do número de pessoas ou materiais afetados – por exemplo, as madeiras e os estuques são particularmente sensíveis à temperatura e à humidade. Ou seja, isto significa que a preocupação com a qualidade do ar é financeiramente relevante, para além dos aspetos acima referidos.

Finalmente, resta acrescentar que, antes de passar ao cerne do trabalho, esta dissertação começará pela definição e contextualização dos conceitos fundamentais envolvidos na sua redação.

1.1 Qualidade do Ar Interior e seus efeitos

O trabalho inicia-se com a definição dos conceitos fundamentais, começando pela própria noção de “qualidade do ar interior”, dado que é esse um dos parâmetros que uma solução para um controlador de um ventilador doméstico deve ter em consideração.

Para o efeito, foi consultado um documento emanado da Organização Mundial de Saúde (OMS) [1]. De acordo com esta instituição, a ausência de qualidade do ar constitui um fator de risco considerável para a saúde humana, nomeadamente porque as pessoas passam grande parte do tempo em espaços interiores, havendo uma percentagem considerável que é constituída por grupos de maior risco, dada a sua vulnerabilidade (doentes crónicos, crianças, idosos, ...).

De acordo com o documento referido, existem “muitos compostos potencialmente perigosos libertados no interior dos edifícios devido às emissões provenientes dos materiais de construção, dos produtos e equipamentos de limpeza, de combustões e de produtos de consumo que se denominam por Compostos Orgânicos Voláteis (COVs). A poluição de origem microbiana proveniente de centenas de espécies de bactérias, fungos e bolores, não pode também, de forma alguma, ser minimizada”. Para além disso, o desenvolvimento de agentes biológicos no ar interior é atribuído à humidade e à ventilação deficientes. De notar que o excesso de humidade em qualquer tipo de material provoca o crescimento de microrganismos tais como fungos e bactérias. A humidade provoca também a degradação dos materiais, tal como se pode observar na Figura 1, o que constitui outro fator de poluição, tendo sido mesmo considerada o principal fator de risco para os casos de asma e sintomas respiratórios (tosse e dificuldades respiratórias).



Figura 1 - Mofo/bolor em habitações

Pelos factos supramencionados, decorre que uma ventilação deficiente é bastante prejudicial à saúde, sendo mesmo conhecida por “Síndrome do Edifício Doente”. No controlo da humidade e prevenção da condensação a ventilação adequada é, por conseguinte, importante [1]. Há também fatores como temperatura ou grau de humidade muito elevados ou muito baixos, ou ainda défices de circulação de ar, que constituem fatores que podem afetar o conforto térmico como, por exemplo, as condensações em superfícies frias que criam condições para o aparecimento de bolores em alguns materiais, tornando-se perniciosos para a saúde e provocando odores indesejáveis.

A OMS [1] enumera os seguintes parâmetros e situações que condicionam a Qualidade do Ar Interior e do Conforto:

- “Temperatura e valores extremos de humidade originada pela colocação imprópria dos dispositivos de medição e controlo (termostatos), deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício para compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação;
- Dióxido de carbono: produzido pela queima de combustíveis fósseis (gás, aquecedores, etc.);
- Monóxido de carbono: originado pelas emissões de veículos (garagens, entradas de ar), pela combustão de produtos, pelo fumo do tabaco;
- Formaldeído: associado à madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia-formaldeído, tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico;
- Partículas: provenientes de fumos, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de HVAC, limpezas;
- Compostos Orgânicos Voláteis (COVs): criados pelas fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, laca, solventes;
- Ventilação inadequada (ar exterior insuficiente, deficiente circulação) originada por medidas de poupança de energia e manutenção, má conceção do projeto do sistema de HVAC, operação deficiente de funcionamento, alteração do sistema de funcionamento do HVAC pelos ocupantes, conceção desajustada dos espaços em avaliação;
- Matéria microbiana: com origem em água estagnada em sistemas de HVAC, materiais molhados e húmidos, desumidificadores, condensadores das torres de arrefecimento (*chillers*), torres de refrigeração”.

Ainda, e de acordo com o mesmo documento, “a temperatura e a humidade relativa podem ser influenciados pelo nível de temperatura originado pela velocidade de circulação do ar, nível de atividade do ocupante e o vestuário” [1]. “ASHARE Standard 55-1992, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, apresenta preceitos que pretendem alcançar condições térmicas que, pelo menos, 80% dos ocupantes achariam aceitáveis ou confortáveis” [1]. Por exemplo, se a humidade relativa for inferior a 25%, pode provocar a secagem das membranas mucosas e da pele ou aumentar a eletricidade estática que, inevitavelmente, afetará o uso de equipamentos elétricos e eletrónicos, além de criar *habitats* perfeitos para o desenvolvimento de fungos, bolor e bactérias.

Quanto à circulação de ar, a Organização Mundial de Saúde aconselha que a circulação do ar seja realizada por convecção e por ventilação, com uma média de 4 renovações de ar por hora num espaço interior. A ventilação excessiva pode provocar um arrefecimento inadequado do corpo humano. Já “ASHRAE recomenda que a velocidade de circulação média de ar de uma zona ocupada, no período de inverno, não deve exceder 0,15 m/s, e no verão não deve exceder 0,25 m/s.”. No entanto, deve ter-se em conta a existência de mudanças de ocupação ou de utilização das áreas a ventilar, devendo o sistema AVAC viabilizar as alterações necessárias.

Da mesma forma, o valor limite de exposição média ao monóxido de carbono é de oito horas, não devendo este ultrapassar os 9 ppm [1]. Os valores acima dos 5 ppm indicam a presença de poluentes de combustão.

Pode então afirmar-se que o controlo adequado de poluentes comuns reduz o risco de enfermidade. Estes efeitos podem verificar-se no imediato ou a longo prazo. Os primeiros surgem imediatamente após a exposição a um ou mais poluentes, geralmente tratáveis, sendo frequentemente suficiente o afastamento da fonte poluente. São os casos da irritação ocular, nasal, da garganta ou da pele (alergias), dores de cabeça e cansaço. No entanto, muitos destes efeitos podem piorar se as condições de entrada de ar exterior, de aquecimento, arrefecimento ou humidade predominantes não forem adequadas. Mais grave é quando as doenças provocadas por uma deficiente QAI (Qualidade do Ar Interior) aparecem mais tarde, muitas vezes inesperadamente, após alguns anos de exposição à fonte poluente ou se esta ocorrer depois de longos períodos de exposição ou exposições repetidas. Neste caso estão incluídas, como já foi referido, as doenças respiratórias, e também as do foro cardíaco ou até mesmo as cancerígenas [2].

Uma síntese informativa da problemática da associação da QAI ao aparecimento ou agravamento de doenças é referida pela Fundação Portuguesa do Pulmão [3] e que a seguir se apresenta.

O conforto térmico está intimamente ligado à saúde dos seres humanos e, por isso, as temperaturas muito elevadas em associação com graus de humidade igualmente elevados, podem implicar uma concentração de alguns poluentes, particularmente fungos e bactérias. O ar quente e seco, ou muito frio e húmido, provocam irritações no aparelho respiratório e podem causar o advento de infeções respiratórias, provocando episódios agudos em doentes com Asma ou doença pulmonar obstrutiva crónica (DPOC). Os aumentos de poluentes em espaços interiores podem ser provocados por uma deficiente ventilação, caso não reduza as irradiações das fontes de poluição, inviabilizando a sua expulsão para o exterior. Especificamente, “a temperatura no interior das habitações deve oscilar entre os 20 e os 24 graus centígrados e a humidade relativa deve situar-se entre os 30 e os 50%. (...)”. No entanto, deve ter-se em consideração a possibilidade de uma alteração brusca da temperatura exterior relativamente à do interior, a fim de não provocar choques térmicos violentos que possam agudizar sintomas de doença crónica já existentes nos indivíduos, o que pode ser minimizado favorecendo-se a circulação do ar [3].

Relativamente a esta questão da ventilação, há que perceber também que uma ventilação deficiente pode ser originada por determinadas formas de atuar ou atividades realizadas em espaços interiores e que as pessoas devem estar atentas aos sinais indiciadores de má ventilação, tais como maus cheiros, ar carregado, condensações nas janelas e paredes, equipamentos de aquecimento ou refrigeração mal limpos e áreas onde se encontram livros, sapatos ou outros objetos com bolor. A introdução de ar exterior no interior é um fator importante na melhoria da qualidade do ar e pode ser realizada de forma natural ou mecânica. Basicamente, a primeira pode realizar-se através da abertura de portas e janelas ou do encerramento de persianas; a segunda recorre a sistemas de ventilação mecânica para o mesmo efeito, reduzindo os custos da refrigeração e do aquecimento, sobretudo em condições climatéricas mais extremas, como é o caso do verão e do inverno, em que a ventilação natural está sujeita a muitos condicionantes, sendo por vezes, impraticável [3].

1.2 Eficiência Energética

A Eficiência Energética, frequentemente associada ao termo "Utilização Racional da Energia" (URE), está focada, para um mesmo nível de conforto, num consumo inferior de energia assim como, tal como a expressão indica, numa utilização energética mais racional. Algumas medidas a tomar para este efeito são elementares como, por exemplo, apagar a luz ao sair de uma divisão. Contudo, os bons hábitos não são suficientes e devem ser complementados com o uso de tecnologias e/ou processos que traduzam uma redução de consumos por eficiência de utilização. Assim, pode afirmar-se que “A eficiência energética é a otimização que realizamos no consumo de energia” [4].

Partindo do pressuposto de que a energia pode ser transformada em calor, frio, luz, etc., é expectável que uma parte dessa energia seja desperdiçada e que aquela que chega ao consumidor nem sempre seja convenientemente aproveitada. A eficiência energética procura exatamente implementar medidas para combater este desperdício de energia. Tendo em conta que tem de existir um processo de transformação da energia natural, transporte e utilização final da mesma, e que estes são causadores de impactos ambientais negativos, ainda que inevitáveis, há desperdícios que são perfeitamente escusáveis se o ser humano aprender a consumir energia de forma mais eficaz. É através da escolha e uso de equipamentos adequados que é possível a poupança de energia sem comprometer o conforto. A isto chama-se utilização responsável, ou seja, “consumir menos energia em cada produto ou serviço que utilizamos, sem alterar o nosso estilo de vida ou sem abdicar do nosso conforto” [5]. É neste sentido que a utilização de um ventilador doméstico autónomo e controlado pode ser considerada economicamente viável e desejável.

Neste âmbito, já não é apenas a saúde e o conforto que estão em causa, mas também os custos de energia, ao nível do utilizador e da sociedade e, também importante, a preservação ambiental da qual todos dependem. De facto, poder contribuir para um menor consumo energético poderá significar um menor impacto ambiental.

1.3 Ventilação controlada

Sintetizando o exposto anteriormente, conclui-se que a sociedade de hoje procura um equilíbrio entre a QAI e a poupança de energia, já que esta tem custos económico-financeiros e ambientais significativos. É neste âmbito que intervém o conceito de ventilação controlada que tem como objetivo permitir ajustar o funcionamento dos sistemas de ventilação às necessidades do espaço a ventilar, quer em termos de utilização quer em termos das condições ambientais, em cada instante. Ou seja, o recurso a um sistema inteligente que não consuma energia se não existir a necessidade de ventilação, podendo os períodos de não funcionamento constituírem uma parte significativa do dia. Porém, há momentos em que a poluição do ar ou a emissão de compostos metabólicos odoríferos exigem a disponibilização de ventilação, como é o caso da preparação de refeições nas cozinhas, na utilização do duche ou ainda por ocupação de compartimentos. Este tipo de ventilação permite a otimização do consumo, com a vantagem de esta poder ser automatizada e, conseqüentemente, mais eficaz. De um modo autónomo, o sistema pode aumentar o caudal de extração de forma a extrair o ar viciado ou a humidade excessiva, quando estas situações são detetadas.

A proteção contra a humidade excessiva, geradora dos *habitats* de eleição dos fungos, obriga, nessa altura, a que o sistema promova a exaustão eliminando rapidamente os riscos de

condensação. Mas a humidade excessiva não é apenas responsável pela criação de fungos ou bolores. Constitui também uma forma natural de perda térmica podendo chegar a valores de 50% de arrefecimento de uma habitação. Neste caso, o sistema de ventilação controlada atua igualmente de imediato para repor a temperatura expectável eliminando, simultaneamente, esse excesso de humidade relativa [6].

1.4 Objetivos do trabalho

Tal como tem sido referido, esta dissertação insere-se na área da monitorização da qualidade e do controlo do ar ambiente e vem dar continuidade a outros trabalhos já efetuados nesta matéria no Laboratório de Instrumentação para Medição da FEUP (Faculdade de Engenharia do Porto).

São objetivos desta dissertação:

- Desenvolver uma solução para um sistema de monitorização e controlo de temperatura e humidade, através do controlo da velocidade de exaustão de um ventilador doméstico de baixa potência;
- Integrar o controlador do ventilador e o sistema de monitorização num dispositivo autónomo;
- Disponibilizar a informação, em tempo real, dos parâmetros em questão;
- Configurar o sistema para diferentes modos de funcionamento de controlo da velocidade de ventilação baseado nos parâmetros de temperatura, humidade e programação horária;
- Armazenar os dados obtidos para monitorização e estudos posteriores;
- O sistema a desenvolver deverá assim permitir a sua utilização em estudos de avaliação de diferentes modos de funcionamentos com os resultados recolhidos.

1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em 7 capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução – onde se procura fazer uma apresentação do tema da dissertação, motivações, enquadramento e objetivos;
- Capítulo 2 – Pesquisa de soluções tecnológicas – que apresenta uma pesquisa de controladores existentes no mercado ou em fase de desenvolvimento para comando controlado da ventilação, focando as suas características e princípio de funcionamento;
- Capítulo 3 – Sistema de controlo do ventilador – que enuncia as especificações e requisitos do sistema, projeto e modelação do dispositivo de forma a cumprir o objetivo;
- Capítulo 4 – Implementação da solução de *hardware* - que visa a descrição da solução para o desenvolvimento e implementação do sistema e descreve a ligação de todos os componentes do sistema;
- Capítulo 5 – Modos de funcionamento e programação – onde é descrita a conceção do código do microcontrolador, a sua ação de comando e a solução de armazenamento de dados;

- Capítulo 6 – Testes experimentais – onde se apresentam os testes realizados com o sistema e os seus resultados;
- Capítulo 7 – Conclusões e trabalhos futuros – onde se apresentam não só as várias conclusões retiradas como algumas propostas para trabalhos futuros, a fim de melhorar o dispositivo concebido.

2 Pesquisa de soluções tecnológicas

2.1 Introdução

Com o desenvolvimento tecnológico e com a evolução dos controladores, diversos sistemas de ventilação controlada têm sido disponibilizados comercialmente para uso generalizado, com o objetivo de monitorizar e controlar a qualidade do ar interior em habitações ou instalações de pequena dimensão.

Alguns dos requisitos que ditam a aquisição deste tipo de controladores incluem a facilidade de interligação e montagem, monitorização, o número de entradas e saídas analógicas e digitais, o possível armazenamento de dados, modo de funcionamento, a integração de relógio de tempo real e o preço.

Todos os exemplos de controladores apresentados nas secções seguintes serão comparados numa tabela resumo, no fim do capítulo.

2.2 Controlador Leviton IPHS5

O Leviton IPHS5 (Figura 2) é um controlador projetado para ser instalado na cavidade de um interruptor de luz para permitir ligar/desligar de forma programada um ventilador, possuindo um sensor de humidade integrado.

Trata-se de um controlador para ser utilizado em instalações domésticas, em casas de banho, caves ou lavandarias, de modo a permitir a redução de humidade excessiva nestas áreas por controlo do sistema de ventilação[7].



Figura 2 - Leviton IPHS5-1LW[7].

O controlador possui dois modos de funcionamento:

- Controlo automático da humidade: sempre que o valor desta suba acima do *setpoint* de 80% (parâmetro que, não pode ser ajustável pelo utilizador), ativa automaticamente o ventilador. Logo que o valor da humidade seja inferior a 80%, o ventilador é então desligado.

- Modo ciclo de ar: ativa automaticamente a ventilação por um período de tempo definido e repete o ciclo por hora. Por exemplo, durante uma hora, a ventilação estará ativa durante 20 minutos e desativada nos restantes 40 minutos.

O controlador não é dotado da capacidade de variação da velocidade de ventilação, não possui LCD e modo de relógio de tempo real nem armazena dados.

Este controlador disponibiliza uma saída por relé que permite controlar um ventilador de baixa potência, até 120 W.

2.3 GSE Digital Fan Controller

O GSE Digital *Fan Controller*, representado na Figura 3, da empresa Growland permite controlar a velocidade de dois ventiladores com o intuito de manter a temperatura e humidade de um espaço constantes e sob pressão para evitar que os odores escapem para outros espaços, como por exemplo, de uma casa de banho para os corredores ou restantes compartimentos da casa [8].



Figura 3 - GSE Digital Fan Controller [8].

Este controlador possui duas saídas analógicas para dois possíveis ventiladores, uma para executar a insuflação do ar e outra para extração do ar. Não possui LCD mas, em alternativa, contém 4 botões que permitem ajustar os valores de referência (ou *setpoint*) da grandeza a medir.

Disponibiliza três modos de funcionamento:

- Modo Temperatura/Humidade: o valor da grandeza que se quer manter no espaço a ventilar é ajustado no botão do controlador com uma histerese de 2°C no caso da temperatura e 1% no caso da humidade relativa.
- Modo velocidade mínima: o valor da velocidade mínima de extração do ar nunca fica abaixo do valor de referência ajustado no botão. Esta ação pode ser desativada, estando a ventilação a ser controlada apenas pelos parâmetros de temperatura/humidade.
- Modo pressão negativa: com o botão associado, a pressão permanece inferior comparativamente ao resto dos espaços, através da redução síncrona dos caudais de insuflação e de extração.

Este controlador não contém módulo de tempo real e não armazena dados. O controlador incorpora *driver* para ventiladores monofásicos até 600 W.

2.4 Controlador ECOWATT

O fabricante de equipamentos e sistemas de ventilação Soler & Palau disponibiliza, entre vários sistemas de controlo de ventilação, o controlador ECOWATT AC/4A, representado na Figura 4, dedicado ao controlo de ventiladores de baixa potência [9].

Este controlador é usado em sistemas de ventilação controlada para permitir o controlo automático da velocidade de ventiladores utilizados em residências ou em edifícios comerciais. É alimentado a 230 V, disponibiliza saída de tensão variável entre 80 e 230 V AC com corrente máxima de 4 A e foi projetado para controlo de ventiladores com motor monofásico de 230 V. Este possui três entradas analógicas, três digitais e uma saída analógica.

Este controlador é dotado de três modos de funcionamento:

- Modo Proporcional-Integral (PI) para sistemas de pressão constante com uma entrada analógica 0-10V.
- Controlo Proporcional: para adequar a ventilação proporcionalmente ao *setpoint* estabelecido com base em três possíveis entradas analógicas para ligar sensores de CO₂, de humidade ou temperatura.
- Controlo Mínimo-Máximo: com base na informação recebida de sensores de presença ou de contactos exteriores, o controlador oferece dois níveis de ventilação (mínimo/máximo).

O sistema possui LCD, mas não tem módulo de relógio de tempo real nem armazena dados.



Figura 4 - ECOWATT AC/ 4 A[9].

2.5 Controlador CB1 TAC3

O CB1TAC3 FULL[10] é um controlador desenvolvido pela empresa P. LEMMENS que vem integrado nos ventiladores TAC ErP do fabricante Relopa Troia representados na Figura 5. Este dispõe de três entradas analógicas mais uma saída analógica e outra digital. É dotado de LCD, para que seja possível selecionar um dos três modos de funcionamento:

- Modo Caudal Constante: escolhe-se um fluxo de ar e o controlador atua no ventilador de modo a que sejam alcançados e mantidos os caudais pretendidos.
- Modo LS ou ligação com um sinal de 0/10 V: o utilizador introduz uma relação linear específica entre um sinal de entrada (0/10 V) de temperatura ou de humidade relativa e o sinal de saída que irá controlar o seu caudal de ar. O controlador certifica-se de que esta relação se mantém através da ventilação controlada.

- CP ou pressão constante: o utilizador define uma pressão constante de ar na área sob ventilação. Este valor de pressão é utilizado como referência a ser mantido constantemente pelo controlador através da ventilação.

O controlador não possui relógio de tempo real nem armazenamento de dados.



Figura 5 - Ventilador TAC Erp com controlador CB1TAC3 FULL integrado[10]

2.6 Controlador A-TH6

O dispositivo da Prosino Group, Temperature and humidity Controller A-TH6 apresentado na Figura 6 foi concebido para ser usado no controlo da temperatura e humidade em estufas agrícolas. Os parâmetros de temperatura e humidade controlados no dia-a-dia nestas aplicações dependem do clima, da ventilação e do aquecimento. Por essa razão este dispositivo é usado para ligar ou desligar, através de um relê, saídas como ventiladores, aquecedores, desumidificadores e humidificadores sempre que os limites máximos forem ultrapassados, para manter o ambiente ideal para as plantações. [11]



Figura 6- Temperature and humidity Controller A-TH6 [11]

Este dispositivo permite a ligação a um único sensor capaz de medir a temperatura e humidade e contém quatro saídas digitais por relé. O controlador é dotado de LCD que permite ver os valores máximos e mínimos de temperatura e humidade ajustados pelo utilizador.

O modo de funcionamento deste controlador consiste em escolher os intervalos de temperatura e humidade que se pretendem manter na estufa ou no espaço que controla. Para isso, o utilizador define os respetivos intervalos. Se os valores medidos não estiverem nesses intervalos o controlador aciona os relés que desencadeiam ações que colocarão em funcionamento um qualquer equipamento que lhe possa estar ligado.

Além disso, permite a ligação remota pelo modo comunicação RS485 a um computador para maior eficiência e menor utilização de recursos humanos, podendo fazer um armazenamento de dados, apesar de ser obrigatória uma ligação a computador para esse efeito.

Este controlador não permite controlar a velocidade do ventilador e não contém módulo de relógio de tempo real.

2.7 Controlador Ec Vent

O sistema EC Vent do fabricante Systemair é um controlador que, associado a ventiladores, simplifica o controlo inteligente da ventilação, possibilitando o controlo de dois ventiladores digitais ou analógicos independentes, estrategicamente situados numa habitação, podendo mesmo, por exemplo, controlar um único parâmetro como a temperatura, em diferentes locais dentro de um mesmo edifício [12].

O sistema EC Vent é constituído por duas unidades, uma central para ser instalada perto do ventilador e uma unidade de *display* como representado na Figura 7, normalmente situada numa divisão de fácil acesso por parte do utilizador. Estas duas unidades comunicam entre elas através do protocolo *modbus*.



Figura 7 - EC VENT unidade central e unidade de *display* [12].

O controlador possui um sensor de temperatura e outro de humidade embutidos na unidade de *display* e três entradas analógicas e uma digital no controlador central. Tem duas saídas analógicas para controlar dois ventiladores e uma saída digital. O controlador contém um módulo de relógio de tempo real, mas não armazena dados. Este é dotado de diversos modos de funcionamento como:

- Modo controlo da Temperatura/Humidade/CO₂/ Pressão: conforme os sensores que estão na instalação. Pode permitir controlar, através da ventilação controlada, a grandeza pretendida de um espaço.

- Modo Controlo de horário: O utilizador escolhe um horário em que quer que a ventilação esteja ativada ou desativada, fixando valores de velocidade de ventilação que pode escolher para cada intervalo de tempo.

- Modo sensor digital: a ventilação é ligada quando um sensor digital é ativado, como um sensor de presença, permitindo a ventilação de uma dependência com ocupação. Neste modo, é possível escolher o período de tempo de ventilação depois de o sensor ser ativado.

- Modo caudal constante com ventilação controlada por parâmetro de CO₂: permite manter um caudal constante de insuflação/extração de ar num espaço ajustado pelo utilizador. No entanto, com um sensor de CO₂ instalado permite mudar a velocidade do ventilador para uma velocidade máxima, caso os valores não estejam inseridos no intervalo de valores de CO₂ definido pelo utilizador.

- Modo controlo de pressão com compensação de temperatura exterior: permite manter uma pressão constante na conduta em que o ventilador está instalado e reduzir a pressão em 50 Pa, caso a temperatura exterior diminua 10°C ou mais.

- Modo caudal mínimo com controlo forçado da ventilação com base em valor da humidade – permite manter a ventilação a um valor mínimo e se o valor de referência da humidade ultrapassar o valor limite definido, o ventilador funcionará à velocidade máxima até o valor baixar.

O controlador não incorpora *driver* de potência para ligação a motor de ventilador.

2.8 Controlador SYNCO 200 RLU236

A Synco 200 é uma gama de controladores desenvolvida pela SIEMENS que disponibiliza vários modelos. Entre eles, o modelo RLU236 apresentado na Figura 8, foi concebido para controlar a temperatura, a humidade, a pressão e outras variáveis de medição específicas de AVAC, para aplicação em áreas como ventilação básica e ar condicionado [13].



Figura 8 - Synco 200 RLU236 [13].

O modelo contém três saídas analógicas e seis saídas digitais assim como duas entradas digitais e cinco universais que podem ser programadas para se comportarem como entradas analógicas ou digitais. Este controlador possui LCD que permite a visualização dos dados de programação, bem como a seleção de modos de funcionamento de ventilação pré-definidos. Possui um módulo de relógio de tempo real e diversos modos de funcionamento, tais como:

- Controlo da temperatura da divisão: permite, através de um controlo proporcional-integral-derivativo ou PID, controlar a ventilação de forma a manter a temperatura da divisão ajustada pelo utilizador. O mesmo pode obter-se com o controlo da humidade, CO₂ e pressão.

- Controlo da temperatura do ar insuflado: através de um controlo PID mantém a temperatura do ar insuflado num valor constante ajustado pelo utilizador.

- Controlo da temperatura da divisão com limitação da temperatura de ar insuflado: com um controlo PID mantém a temperatura da divisão num valor definido pelo utilizador. No entanto, é definida uma função de limitação em que, caso a temperatura de insuflação passe os limites estabelecidos, o controlador toma como prioridade essa função e interrompe o funcionamento normal do controlador.

- Modo Controlo de horário: O utilizador escolhe o horário em que quer que a ventilação esteja ativada ou desativada, fixando um valor de velocidade de ventilação para cada intervalo de tempo.

Por fim, este controlador necessita de um *driver* de potência para ligação ao motor do ventilador.

2.9 Conclusão

Como se pôde constatar, existem vários controladores que permitem controlar sistemas de ventilação domésticos. Na Tabela 1, estão comparadas as principais características de cada controlador anteriormente mencionado. No entanto, os controladores que contêm mais saídas e entradas e maior número de programas pré-programados têm a desvantagem de serem de custo elevado. Nenhum dos controladores anteriormente expostos controla um ventilador e armazena dados simultaneamente, como seria útil no caso de estudos da monitorização e controlo do ar ambiente. Os tipos de ações disponibilizadas são pouco flexíveis para permitir a implementação de diferentes modos de funcionamento. Em geral, não possibilitam o armazenamento de dados que permitirão ajustar o modo de funcionamento mais adequado a cada situação. Não proporcionam, portanto, uma solução que preencha os requisitos do presente trabalho.

Tabela 1 - Comparação dos diferentes controladores de ventilação controlada.

	Alimentação	Entradas		Saídas		Armazenamento	Módulo relógio tempo real	LCD	Driver De potência	Preço
		A	D	A	D					
IPHSS Leviton	120V AC	0	0	1	0	Não	Não	Não	Relé	33 €
GSE Digital Fan Controller Growland	230 V AC	1	0	2	0	Não	Não	Não	Sim	169 €
ECOWATT Soler&Palau	230 V AC	3	3	1	0	Não	Não	Sim	Sim	486 €
CB1 TAC3 FULL Relopa Troia	230 V AC	3	0	1	1	Não	Não	Sim	Sim	934 €
ATH6 Prosino Group	24 V DC	0	0	0	4	Sim	Não	Sim	Não	220 €
EC VENT Systemair	230 V AC	3	1	2	1	Não	Sim	Sim	Não	484 €
SYNCO 200 RLU236 Siemens	230 V AC	[0-5]	[2-7]	3	6	Não	Sim	Sim	Não	722 €

3 Sistema de controlo do ventilador

3.1 Introdução

No desenvolvimento deste dispositivo, concebido para estudos baseados na monitorização e controlo de ventilador doméstico com registo de parâmetros em base de dados, existem vários fatores a ter em conta como o tipo de controlador a utilizar, a escolha de sensores de temperatura e de humidade com exatidão adequada, a solução de comando do ventilador assim como a de armazenamento de dados.

Neste trabalho, decidiu-se que o sistema a conceber deveria ter a capacidade de monitorizar o ar ambiente e testar diferentes modos de funcionamento para controlo da ventilação face a uma solicitação típica de um espaço que sofra variações de temperatura e humidade ao longo do dia, como é o caso, por exemplo, de um balneário de um ginásio ou uma casa de banho doméstica.

3.2 Arquitetura e especificações do sistema

Há certos requisitos e especificações que têm de ser cumpridos para que se atinjam os objetivos do sistema, que são os seguintes:

- Capacidade de monitorizar os parâmetros de temperatura e humidade relativa de um espaço fechado;
- Capacidade de controlar permanentemente um ventilador de baixa potência em função da temperatura e humidade face ao modo de funcionamento definido;
- Disponibilização da informação dos valores medidos, em tempo real, no próprio controlador num LCD;
- Armazenamento dos dados obtidos em base de dados alojada num servidor, para fácil acesso através da Internet;
- Dispositivo autónomo, flexível na implementação de diferentes modos de funcionamento, de pequena dimensão e económico.

Para a implementação do sistema de controlo foi adotada uma solução baseada num microcontrolador *Arduino* que oferece elevada flexibilidade na sua programação e integração com outros componentes, nomeadamente sensores, ao mesmo tempo que permite obter uma solução de custo reduzido.

Na Figura 9 é apresentada a arquitetura global do sistema desenvolvido incluindo os componentes e principais ligações.

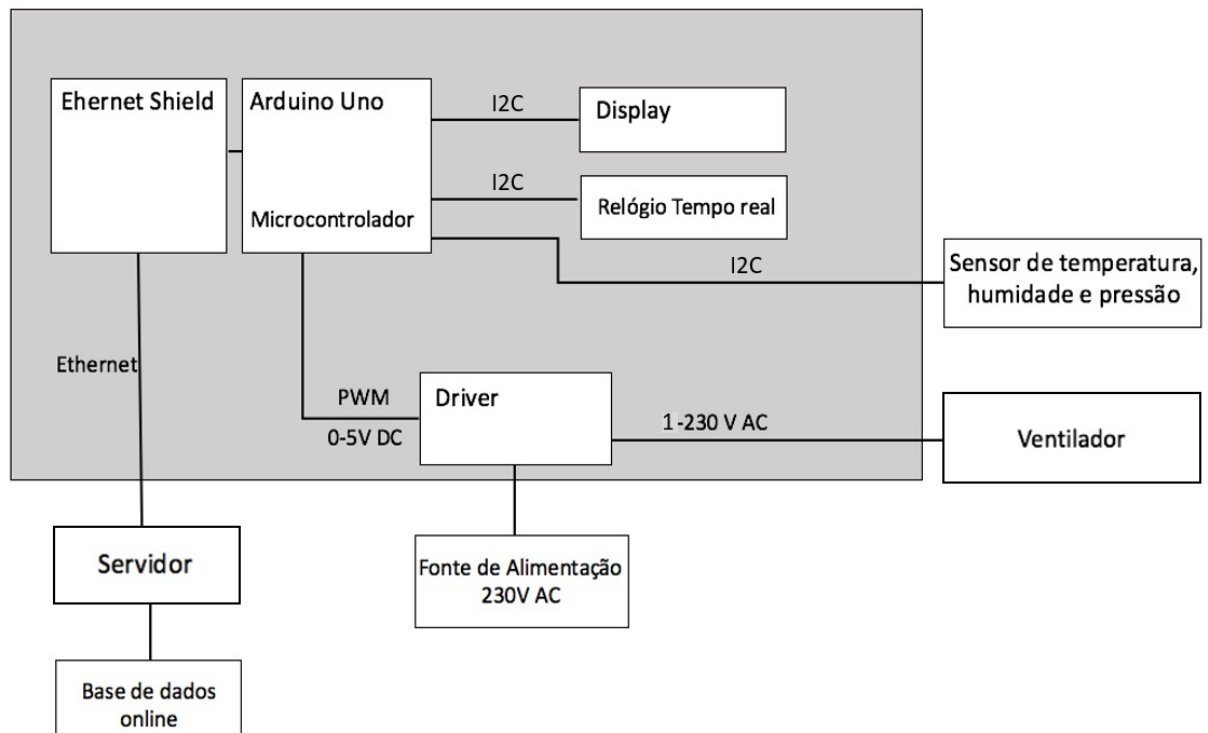


Figura 9 – Arquitetura global do sistema

3.3 Hardware do controlador

Entre as várias hipóteses na escolha da solução para controlador, optou-se por uma plataforma eletrónica baseada em *hardware* e *software open source*, o *Arduino Uno*, representado na Figura 10. O *Arduino Uno* é uma das plataformas da família *Arduino*, muito utilizada e com muita documentação disponível.

Figura 10- *Arduino Uno* R3[14].

Não sendo o *Arduino Uno* um minicomputador, como é o caso do *Raspberry Pi*, é um sistema excelente para projetos que comportam uma componente eletrónica, podendo ser muito utilizados para soluções simples no ramo da automação.

O *Arduino Uno* disponibiliza uma série de entradas e saídas que se podem ligar diretamente a sensores e outros componentes, permitindo executar rapidamente uma tarefa. Este é constituído por um microcontrolador Atmega328 e existe disponível *software* de desenvolvimento *open-source* (IDE).

Este microcontrolador tem 14 pinos que podem ser programados como entradas ou saídas digitais. Apesar de não ter saídas analógicas, dentro das 14 possíveis entradas/saídas digitais, 6 podem ser usadas como saídas PWM, o que é bastante vantajoso, sendo utilizada uma destas saídas para disponibilizar um sinal de referência para o *driver* de controlo de velocidade do ventilador. Além disso, possui 6 entradas analógicas, um botão de *reset* e é possível ser alimentado através de uma ligação *USB* de 5 V ou por uma outra fonte externa entre 7-12 V [14]. A Tabela 2 apresenta as características principais do *Arduino Uno*.

Tabela 2 - Características do microcontrolador *Arduino Uno*

Características <i>Arduino Uno</i>	
Alimentação	7-12 V (5V por USB)
Entradas/saídas digitais	14 (6 PWM)
Entradas analógicas	6
Corrente máxima por pino	40 mA
Processador	Atmega328
<i>Clock</i> de operação	16 MHz
Memória <i>Flash</i>	32 KB
Memória SRAM	2 KB
Memória EEPROM	1 KB
Portas de comunicação	2 Portas série e uma USB

3.4 *Software de programação*

O *software* de programação utilizado neste trabalho foi o *Arduino IDE* (*Integrated Development Environment*) que é um ambiente de desenvolvimento integrado que suporta a programação diretamente ao *Arduino* [15].

No IDE estão incluídos diferentes tipos de rotinas *standard* para diferentes aplicações preparados para serem testados num dispositivo compatível. Neste *software* é possível verificar a existência de erros no código escrito, compilá-lo para a linguagem de máquina do *Arduino* e abrir o *serial monitor*, frequentemente usado para *debug*. Depois de testar e verificar que não existem erros, torna-se possível carregar o programa para o *Arduino*, através de um cabo USB ou micro USB, consoante o modelo. Na Figura 11 é apresentada uma legenda das principais funcionalidades do *Arduino IDE*.

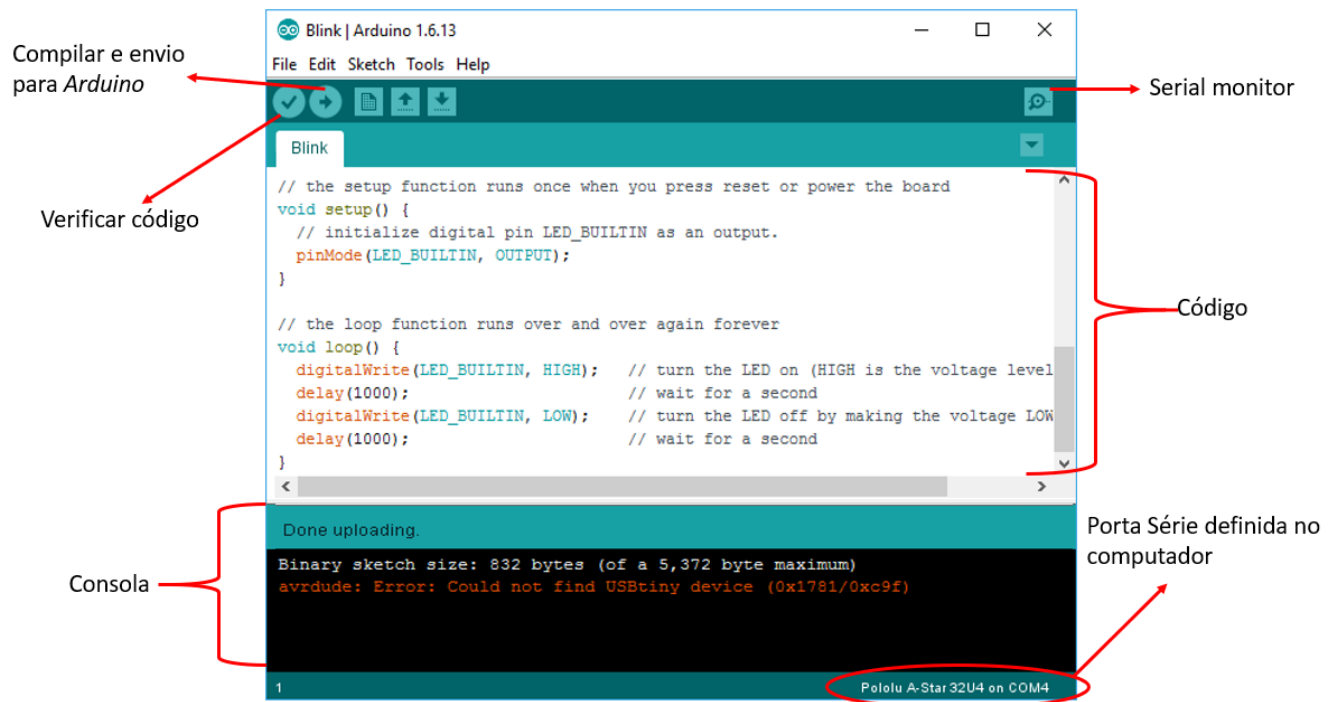


Figura 11 - Arduino IDE.

3.5 Sensores de temperatura e humidade

Dos sensores existentes compatíveis com o sistema *Arduino*, os sensores DTH11, DTH22 e o BME280 são frequentemente utilizados em sistemas em que se pretende medir a temperatura e a humidade relativa do ar ambiente. As suas características podem ser observadas e comparadas na tabela 3.

Tabela 3 - Comparação de características de diferentes sensores

	DTH11	DTH22	BME280
Intervalo de temperaturas lido	0 – 50 °C	- 40 – 125°C	-40 – 85°C
Exatidão temperatura	± 2°C	±0.5°C	±0.5°C
Intervalo de variação de humidade relativa lido	20-80 %	0-100 % RH	0-100 % RH
Exatidão humidade	± 5%	±2%	±3%
Intervalo de pressões lido	-	-	300-1100 hPa
Exatidão pressão	-	-	± 1 hPa
Exatidão altitude	-	-	± 1 m
Tensão de alimentação	3.3 – 5.5 V	3.3 – 5.5 V	1.71-3.6 V
Grandezas lidas	Temperatura e Humidade	Temperatura e Humidade	Temperatura, Humidade, Pressão e altitude
Protocolos de comunicação	One Wire	One Wire	SPI e I2C

O sensor escolhido foi o BME280 da *Bosch* e está representado na Figura 12. O que distingue este sensor dos dois outros anteriormente referidos é a sua capacidade de medir não só a temperatura e humidade relativa mas também a pressão atmosférica. Outro fator de decisão foram os protocolos de comunicação que disponibiliza, SPI e I2C, permitindo uma implementação simplificada [16].

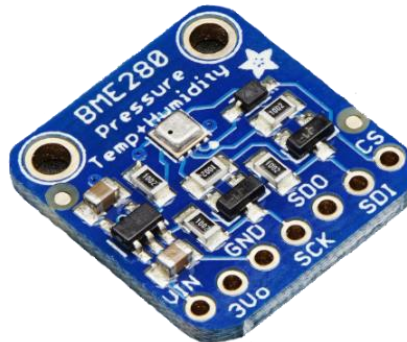


Figura 12 – Sensor BME280 da Bosch [16]

3.6 Visor LCD

O visor escolhido para permitir a observação dos valores em tempo real foi o LCD 16x2, da *ElectroFun* (Figura13). Este visor dispõe de 2 linhas e de 16 colunas, fundo azul e caracteres brancos e é alimentado a 5V [17].

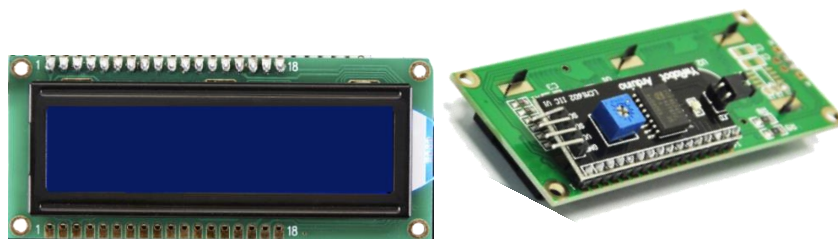
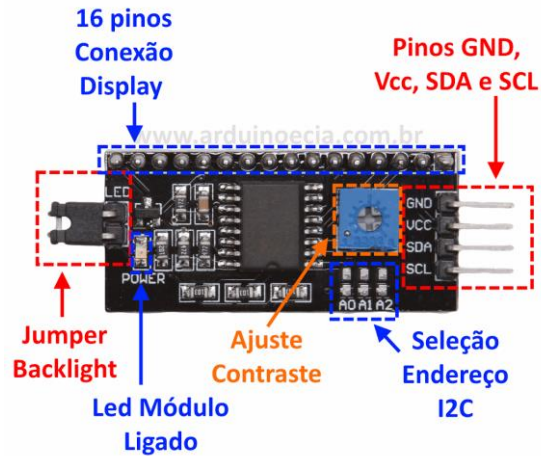


Figura 13– LCD *display* ElectroFun com módulo I2C[17]

O motivo da escolha deste Visor, deve-se ao facto de disponibilizar um módulo de comunicação com protocolo I2C e ter uma boa relação custo-benefício. Normalmente são necessárias 16 ligações para controlar todos os parâmetros do LCD, como o brilho, luz de fundo e contraste. Este módulo traz a vantagem de reduzir esse número de ligações de 16 para 4. Representado na Figura 14, o módulo permite ajustes de contraste por potenciómetro e um *led* para indicação de que o mesmo se encontra ligado.

Figura 14– Componentes do módulo I2C do *display*

3.7 Módulo de Relógio de tempo real (RTC)

Em projetos de sistemas em que se pretenda registar dados por períodos longos de tempo ou de controladores que realizem operações em tempos ou horários específicos durante semanas ou meses, é necessário dispor de um relógio de tempo real (RTCs). Outra vantagem da sua utilização é o facto de permitir manter os dados de data e hora, mesmo quando o sistema em que este esteja incorporado seja desligado da corrente. Dentro da gama de módulos com relógio de tempo real compatíveis com *Arduino*, com o critério de serem alimentados com tensão entre 3-5 V e com comunicação I2C, os mais frequentemente utilizados são o DS1307 e o DS3231. Na tabela 4, são apresentadas e comparadas algumas características relevantes para o projeto do sistema entre dois RTCs.

Tabela 4 - Comparação entre os RTCs DS1307 e DS3231

	DS1307	DS3231
Tensão de funcionamento	3.3-5V	3.3-5V
Exatidão	23 PPM	2 PPM
Compatível com I2C	Sim	Sim
Tipo de oscilador	Externo	Interno

Comparando os dois módulos RTC, é possível observar que a precisão é maior para o DS3231 e que este, ao contrário do DS1307, possui um oscilador interno o que garante que existem menos variações de tempo devido às variações de temperatura exterior. Logo, para realizar funções dependentes de parâmetros de hora e data, optou-se por incorporar no sistema o módulo *Real Time Clock* (RTC) DS3231, apresentado na Figura 15.

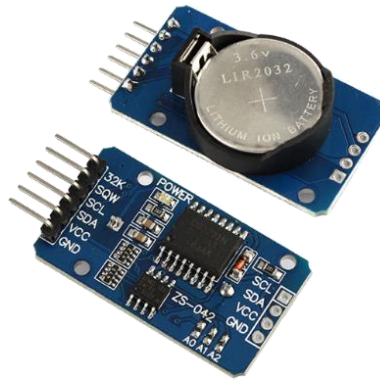


Figura 15– RTC DS3231 [18]

O módulo DS3231 fornece informações temporais desde os segundos, minutos, dia, até mês e ano. As retificações derivadas da existência de meses com menos de 31 dias e anos bissextos são realizadas automaticamente e funcionam tanto no formato 12 horas como no de 24 horas [18]. Quando ocorre uma falha de energia, a bateria que integra o módulo permite evitar a perda de dados, tornando-se de grande utilidade para o sistema.

3.8 Armazenamento de dados

Uma das vantagens da utilização do *Arduino* é este dispor de uma enorme quantidade de periféricos de fácil montagem e de custo reduzido. Alguns destes periféricos, designados por “*Arduino Shields*” são feitos para serem montados diretamente nos terminais da placa do *Arduino* Uno, dispensando o uso de conectores externos.

Para suportar o armazenamento de dados e a comunicação Ethernet, foi selecionado o *Arduino* Ethernet SHIELD v2 (Figura 16) que disponibiliza, para além de uma porta Ethernet, a instalação de um cartão de memória do tipo micro SD.

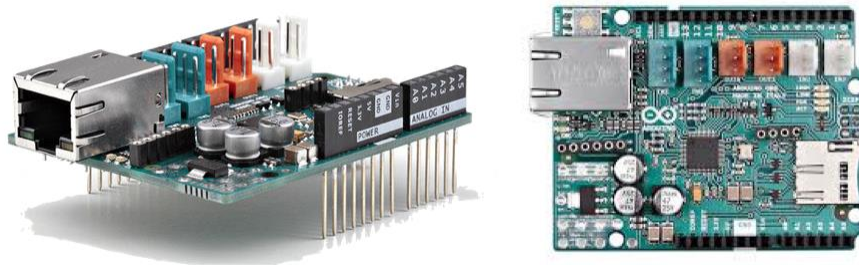


Figura 16 - *Arduino Ethernet SHIELD v2.*

Pelo facto de as aplicações que potenciam a filosofia *IOT* (*Internet of things*) estarem cada vez mais presentes, e com a finalidade de valorizar o sistema, optou-se por armazenar os dados monitorizados em base de dados alojada num servidor (na FEUP) e cujo acesso *online* pode ser disponibilizado. O protocolo SPI é o tipo de comunicação usado por este periférico.

3.9 Ventilador doméstico

O ventilador disponível no laboratório para testar o sistema em desenvolvimento é o modelo S&P-TD 160/100 N SILENT (Figura 17) da empresa Soler Palau.



Figura 17 - Ventilador S&P -TD 160/100

Estes tipos de ventiladores de baixa potência são frequentemente usados para extração do ar em casas de banho devido ao facto de serem extremamente silenciosos. Apesar de não ser o mais indicado para o tipo de aplicação que se pretende, visto existirem ventiladores da S&P reguláveis com reóstatos, conseguiu-se fazer o controlo da sua velocidade com a incorporação de um *driver* no sistema. Na tabela 5, estão representadas algumas das características principais do ventilador.

Tabela 5 - Características principais do Ventilador TD 160/100 N SILENT

	S&P TD 160/100 N SILENT
Tensão de alimentação	230 V AC
Potência máxima absorvida	25 W
Velocidade	2500 r.p.m.
Caudal de descarga livre	180 m ³ /h
Temperatura máxima de trabalho	- 20 / +40 °C
Díâmetro	100 mm
Nível de pressão sonora	24 dBA

3.10 Driver

No sistema a conceber, pretende-se ter a possibilidade de variar a tensão elétrica a fornecer ao ventilador. Para esse efeito, foi utilizado um *driver* já existente que permite variar a tensão AC fornecida ao motor a partir de um sinal de referência de 0 a 5 V (Figura 18).

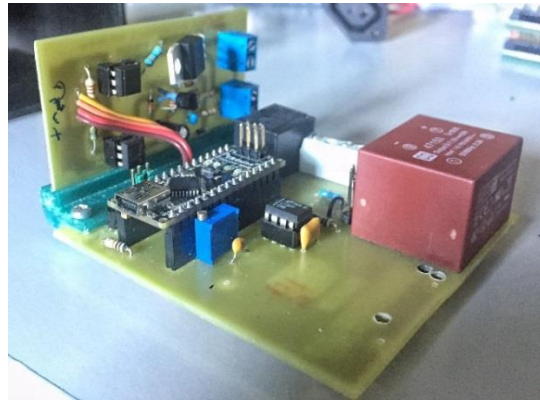


Figura 18- *Driver* utilizado

O sistema torna-se assim capaz de controlar a velocidade do motor do ventilador com o auxílio de uma das saídas digitais com funcionalidade PWM, em alternativa a uma saída analógica. Assim, é utilizada uma saída digital com funcionalidade PWM do *Arduino Uno* para gerar a tensão de referência ao *driver*.

3.11 Conclusão

O sistema concebido para controlar o ventilador doméstico de baixa potência e, simultaneamente, monitorizar o ar ambiente, tendo em conta os requisitos estabelecidos, é composto por 6 módulos eletrónicos.

O microcontrolador utilizado é um *Arduino Uno*, sendo usada a comunicação I2C com o sensor BME280, o RTC DS3231 e o LCD. Estes têm a função de disponibilizar os valores de temperatura e de humidade relativa, de data e de hora que são processados pelo programa que é executado no *Arduino UNO*. Este é programado com auxílio do *software Arduino IDE*, onde se edita, compila e transfere o código.

Para se poder ligar à Internet e realizar o armazenamento de dados numa base de dados *online*, é ligado ao *Arduino* o módulo *Ethernet Shield* que comunica pelo protocolo SPI. A fim de permitir a variação da velocidade de extração do ar do ventilador é incorporado um *driver* de potência.

4 Implementação da solução de *hardware*

4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas especificidades da solução definida e descrita no capítulo anterior para o sistema de controlo de ventilador de baixa potência. Para materializar a conceção do sistema foi desenvolvida uma placa PCB e para alojar todos os elementos do controlador, foi também concebida uma caixa e foram usados os recursos de impressão 3D do laboratório, visando facilitar todas as ligações ao *Arduino* e tornando o sistema compacto e portátil de modo a conseguir realizar mais facilmente testes em diferentes espaços.

4.2 Ligação do *hardware* e protocolos de comunicação

Para tornar possível a monitorização do ar ambiente e o controlo do ventilador doméstico é essencial a ligação dos periféricos e *driver* de potência ao *Arduino*.

Ao *Arduino* são ligados cinco elementos: o sensor de temperatura e humidade relativa, o módulo relógio de tempo real, o LCD display, o *ethernet shield* e o *driver* de potência (Figura 19). É de notar a utilização de resistências de *pull-up* entre a ligação de 5 V e as ligações de transmissão de dados, assim como a ligação da saída digital 9 (com funcionalidade PWM) ao *driver* de potência.

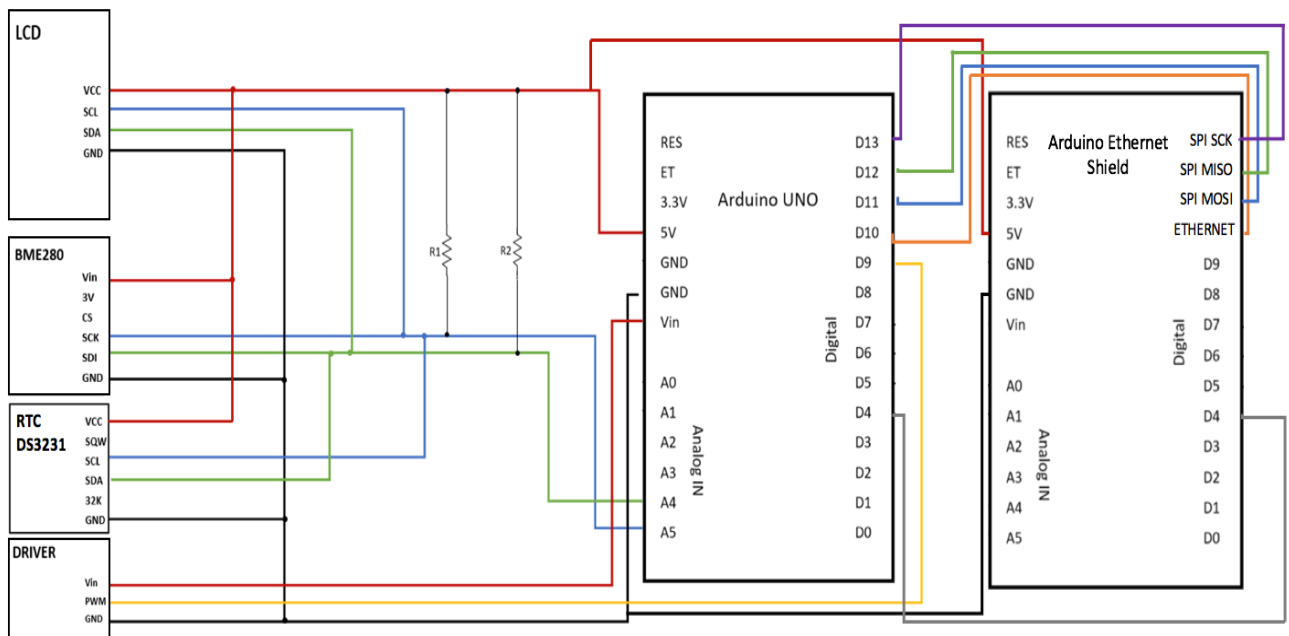


Figura 19 - Interligação dos componentes ao *Arduino Uno*

Os três periféricos, nomeadamente o sensor BME280, o módulo RTC e o LCD *display*, comunicam com o *Arduino* através do protocolo de comunicação I2C. Estes são ligados às entradas de transmissão de dados SDA (*Serial Data*) e SCL (*serial Clock*, que no *Arduino Uno* correspondem respetivamente às entradas analógicas A4 e A5).

O *Ethernet Shield* comunica com o *Arduino Uno* através do protocolo de comunicação SPI. Este é ligado às entradas digitais 11, 12 e 13, correspondentes às entradas de transmissão de dados MOSI, MISO e SCK e à entrada digital 10 e 4 para comunicar com a porta *Ethernet* e seleccionar/desseleccionar a gravação no cartão micro SD.

A saída digital do *Arduino* liga-se ao *driver* de potência através da saída digital 9, uma das saídas com funcionalidade PWM que constitui alternativa a uma saída analógica.

A ligação física do *Ethernet Shield v2* ao *Arduino Uno* é realizada de forma simplificada, como se pode observar na Figura 20.

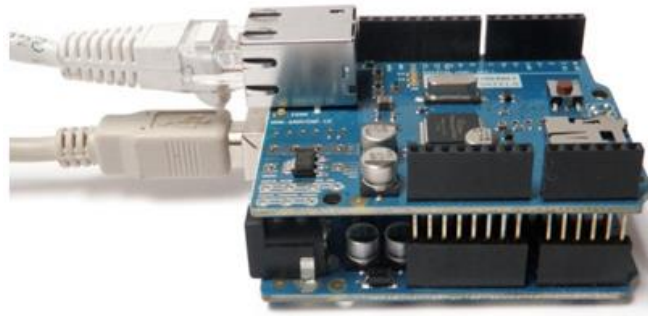


Figura 20 - *Ethernet Shield* v2 conectado ao microcontrolador *Arduino Uno*

Para simplificar a integração destes componentes, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso, desenhada como constituindo um *Shield* de *Arduino*, simplificando e diminuindo o tamanho de todo o sistema eletrónico necessário à ligação dos periféricos.

A conceção desta placa passa pela esquematização de ligações para desenho CAD, fabrico da placa de circuito impresso e soldagem dos componentes. O desenho 2D foi realizado no *software* EAGLE 8.2.1 da *Autodesk* onde é possível criar o desenho do esquema de ligação do circuito e a criação do desenho da placa de circuito impresso, sendo que estas duas interfaces são dependentes uma da outra. Foram utilizados ficheiros EAGLE do *Arduino Uno* disponíveis *online* para um desenvolvimento da placa compatível com o microcontrolador. Nas Figuras 21 e 22 encontra-se a versão final do desenho da placa nas duas interfaces do EAGLE e sua integração no sistema eletrónico.

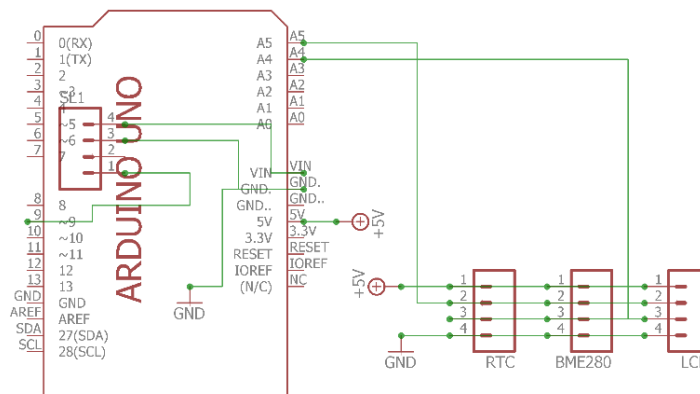


Figura 21 - Desenho esquemático das ligações do circuito

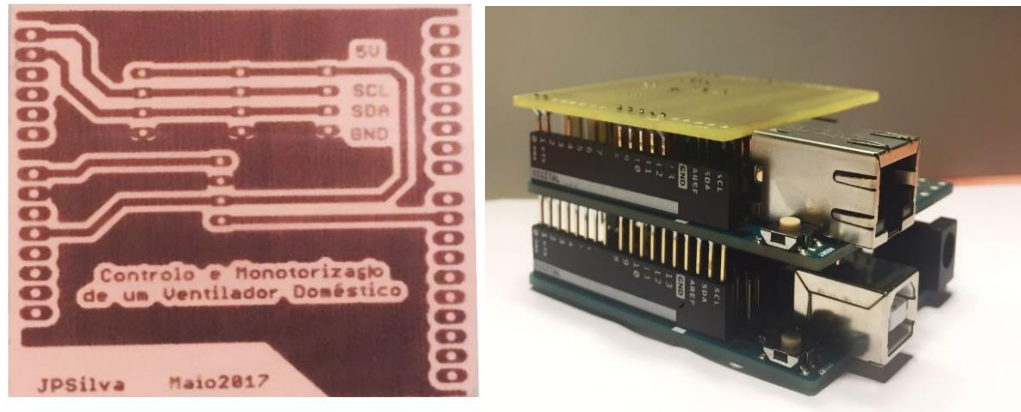


Figura 22 - desenho final da placa de circuito impresso e sua inserção no sistema *Arduino*

4.3 Ligação do Driver

A função do *driver* de potência é essencial no sistema, pois é a componente que irá converter o sinal 0-5 V proveniente do *Arduino Uno*, num sinal de tensão de 0-230 V para controlo de velocidade de extração do ar realizada pelo ventilador doméstico, alimentado a corrente alternada, como se apresenta no esquema da Figura 23.

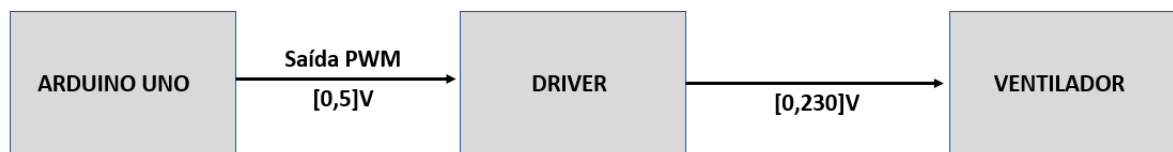


Figura 23 - Esquema da conversão de sinal do *driver*

A variação de tensão proveniente do microcontrolador *Arduino* é possível devido à funcionalidade PWM (*Pulse Width Modulation*). Esta é uma técnica utilizada por sistemas digitais, como o caso de microcontroladores, para a variação do valor médio de tensão, sob a forma de onda periódica. O método baseia-se na manutenção da frequência de uma onda quadrada fixa e na variação do tempo em que o sinal permanece em nível lógico alto, no caso do *Arduino*, de 5 V. A fração de tempo de um ciclo em que permanece neste nível denomina-se *duty cycle*, ou ciclo de trabalho ativo, enquanto que o intervalo de tempo em que a saída assume o nível baixo, ou 0V, denomina-se ciclo de trabalho inativo. Assim, modulando o tempo, o sinal permanece em 5V, gerando uma tensão média de saída. A frequência de funcionamento utilizada no *Arduino Uno*, na saída selecionada, foi de aproximadamente 500 Hz.

Na Figura 24, é apresentada uma representação de uma onda quadrada, de frequência 500 Hz, com *duty cycle* de 50%, tensão máxima de 5VDC, a que corresponderá uma tensão média de 2.5 V.

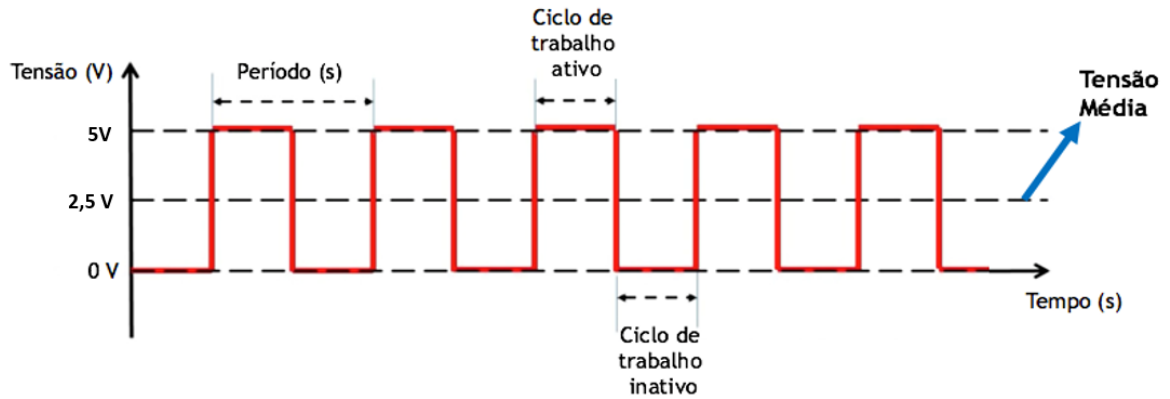


Figura 24 - PWM com ciclo de trabalho ativo a 50% com tensão média de saída a 2,5 V

No *Arduino IDE* o sinal de PWM na sua saída é conseguido através da função *analogWrite*, convenientemente parametrizada (pino e ciclo de trabalho ativo). Este último parâmetro é guardado em 8 *bits* e por essa razão varia de 0 a 255. Por exemplo: *analogWrite* (pino9, 127).

4.4 Caixa e estrutura final do sistema

De forma a alojar de forma compacta e tornar o sistema portátil, foi concebida, desenhada e impressa (em impressora 3D) uma caixa para suportar e fixar todos os componentes anteriormente referidos. Depois da criação dos circuitos e análise dimensional de todos os elementos (componentes, conetores, ...), foi possível realizar o projeto da caixa de montagem do sistema eletrónico. Usou-se o *software Solidworks* para desenho e projeto da caixa em CAD 3D. A Figura 25 apresenta duas vistas do modelo 3D da caixa com os componentes montados.

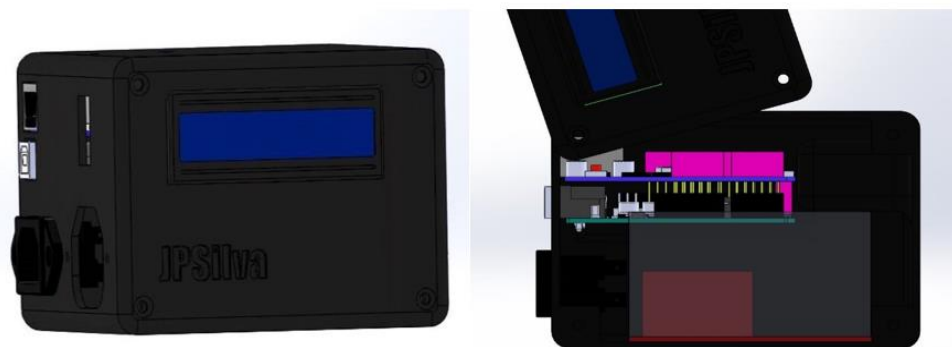


Figura 25 - Simulação da montagem dos componentes no caixa concebida.

A caixa foi projetada de modo a que os componentes fiquem em dois níveis distintos. No “patamar superior”, aparafusou-se e montou-se o *Arduino Uno*, o *Ethernet Shield* e a placa PCB; no “patamar inferior”, implantou-se o *driver*. A estrutura compreende ainda uma ranhura embutida do lado direito, para permitir aceder ao cartão de memória micro SD disponibilizado pelo *Shield* instalado no “patamar superior”. Na vista frontal do dispositivo existe uma abertura para a montagem do *display LCD*; já no seu lado esquerdo, as aberturas são destinadas à

montagem das fichas de ligação à corrente do ventilador, às entradas USB do *Arduino* e do *Ethernet* do *Shield* e ainda do botão ON/OFF do dispositivo. O topo contém dois pequenos orifícios para a passagem dos cabos do sensor de temperatura e de humidade relativa e, finalmente, permitir o acesso ao botão *reset*.

Depois de o desenho *CAD* estar completo, procedeu-se à impressão 3D, recorrendo à impressora disponível no laboratório. É possível ver a versão final do dispositivo já impresso e com os componentes montados na Figura 26.



Figura 26 - Versão final do dispositivo

4.5 Conclusão

Neste capítulo é descrita a sequência de tarefas para reunir e montar com critério, de forma compacta, todos os elementos constituintes deste sistema em desenvolvimento. São explicadas as funções das entradas e saídas do *Arduino Uno* e definida a interligação elétrica dos elementos utilizados.

5 Modos de funcionamento e programação

5.1 Introdução

Este capítulo apresenta as componentes principais da programação do *Arduino*, incluindo a leitura e obtenção dos dados disponibilizados em tempo real no *display*, o modo de funcionamento para controlo do ventilador doméstico e o modo de ligação do microcontrolador à base de dados *online* para armazenamento da informação. Para a escrita do código de programação foi utilizado o *software Arduino IDE* e para o desenvolvimento e utilização da base de dados foram utilizados os *softwares* SQLite, FileZilla e NotePad ++.

5.2 Informação em tempo real disponível em display LCD

Na sua inicialização, o sistema disponibiliza no seu *display* a mensagem inicial com o nome do autor do sistema e a data, como é apresentado na Figura 27.



Figura 27 - Mensagem inicial do sistema

A representação da mensagem no LCD é possível com a função de impressão `lcd.print()`. O dia da semana e a data são fornecidos pelo módulo RTC através das funções `rtc.getDOWStr()` e `rtc.getDateStr()` através das linhas de código disponibilizadas na Figura 28.

```
// LCD display //

// Mensagem Inicial //

lcd.home ();
lcd.setCursor ( 4, 0 );           // go to the next line
lcd.print (rtc.getDOWStr());
lcd.setCursor ( 0, 1 );           // go to the next line
lcd.print ("JPSilva");
lcd.setCursor ( 8, 1 );
lcd.print (rtc.getDateStr(FORMAT_SHORT, FORMAT_LITTLEENDIAN, '-'));

delay ( 3000 );
lcd.clear();
```

Figura 28 – Código para disponibilização de dados em *display* LCD

Três segundos após o arranque do sistema, a mensagem inicial é apagada e o LCD passa a disponibilizar os valores, em tempo real, de temperatura, de humidade relativa, de tempo e de velocidade do ventilador. Cada um desses parâmetros é identificável com um carater personalizado, para economizar o espaço disponível no ecrã, como representado na Figura 29.



Figura 29 - Disponibilização da informação em tempo real no *display* LCD

Já os valores de temperatura e de humidade relativa são obtidos através das funções *bme.readTemperature()* e *bme.readHumidity()*. Por sua vez, a indicação do tempo real é fornecido pelo RTC através da função *rtc.getTimeStr()*. Todos estes valores são disponibilizados no LCD em tempo real com uso da função *lcd.print()* (Figura 30).

```
//// // ENVIAR DADOS DE TEMP HUM E HORA PARA LCD display

lcd.setCursor(1, 0);
lcd.print(bme.readTemperature(), 1);

lcd.setCursor(1, 1);
lcd.print(bme.readHumidity(), 1);
delay(500);
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print(rtc.getTimeStr(FORMAT_SHORT));
```

Figura 30 – Código de programação para disponibilização de valores em tempo real no LCD *display*

O valor de velocidade de ventilação depende do modo de funcionamento acionado e que será explicado posteriormente.

5.3 Ação de controlo do ventilador doméstico

O sistema concebido está adequado para controlar um ventilador doméstico de baixa potência. A ação de controlo será realizada em função dos valores de temperatura e de humidade relativa lidos pelo sensor BME280 e dos valores de data e hora enviados pelo módulo RTC DS3231. Estes valores são também disponibilizados em tempo real no *display* LCD.

O *software* de controlo desenvolvido permite ao sistema funcionar em quatro modos distintos que foram designados por:

- Modo Contínuo;
- Modo Discreto;
- Modo Horário;
- Modo Contínuo-Horário.

Estes modos de funcionamento, à exceção do modo Horário, utilizam o valor da temperatura de *dewpoint* ou ponto de orvalho, calculado a partir dos valores de temperatura e de humidade relativa, como se passa a explicar.

O *dewpoint*, ou ponto de saturação, é a “temperatura à qual o vapor de água no ar se condensa a uma dada pressão de referência” (normalmente a pressão atmosférica) [19], mas também na forma de orvalho, de neblina ou, eventualmente, de chuva. O *dewpoint* é sempre menor ou igual à temperatura do ar, sendo habitual o orvalho ou a neblina ocorrerem mais durante as primeiras horas da manhã, quando as temperaturas do ar são geralmente mais baixas do que o valor da temperatura de *dewpoint* [19].

A humidade relativa é a “razão entre quantidade de água existente no ar e a máxima quantidade de água que aí é possível existir a essa temperatura e pressão” [19] sem condensar. Este valor é o que se utiliza no cálculo da temperatura de *dewpoint*.

Na determinação da temperatura de *dewpoint* do ar atmosférico a partir da temperatura e da humidade relativa do ar, pode ser utilizada a fórmula de Magnus [20]:

$$t_d = \frac{B_1 \left[\ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{A_1 t}{B_1 + t} \right]}{A_1 - \ln \left(\frac{RH}{100} \right) - \frac{A_1 t}{B_1 + t}}$$

onde t_d indica temperatura de *dewpoint*, t a temperatura ambiente e RH a humidade relativa e A_1, B_1 e C_1 , coeficientes que mais tarde, a fim de melhorar a eficácia da aproximação, foram alterados por *Alduchov and Eskridge* [20] para os seguintes valores:

$$\begin{aligned} A_1 &= 7,625 \\ B_1 &= 243,04^\circ\text{C} \\ C_1 &= 610,94 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Desta forma, é possível calcular a temperatura de *dewpoint* e integrá-la na ação de controlo do ventilador de acordo com os modos de funcionamento mencionados anteriormente. Assim, o diferencial de temperatura entre temperatura atual e temperatura de *dewpoint* é usado como referência para a ação de controlo do ventilador. Quanto menor for esta diferença, maior é a possibilidade de vir a ocorrer condensação. Assim, a ventilação deverá permitir a renovação do ar por extração do ar húmido sendo, então, possível evitar condensações e formação de bolores nas superfícies se a temperatura do ar ou das superfícies frias for inferior à temperatura de *dewpoint* [21].

No modo de controlo Contínuo, a velocidade de ventilação varia proporcionalmente em função da diferença entre a temperatura atual e a temperatura de *dewpoint*, sendo utilizado o perfil de controlo apresentado na Figura 31.

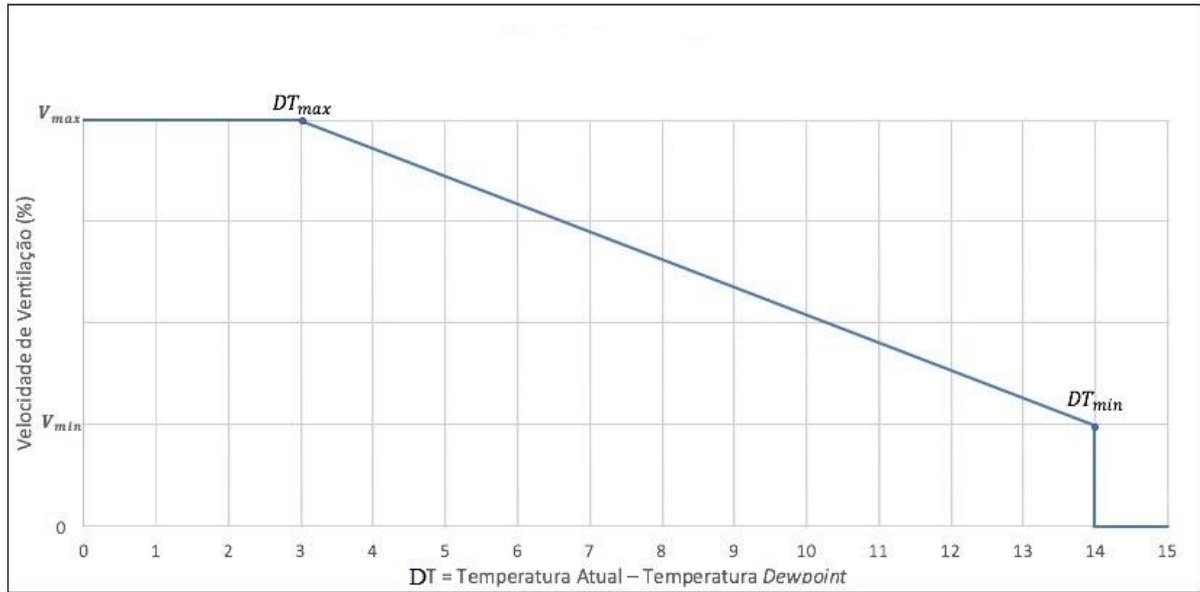


Figura 31 - Modo Contínuo

Depois de efetuados vários testes, verificou-se que a diferença entre estas temperaturas, definida com a variável DT, permanece num intervalo entre 0 a 15°C. Quando a temperatura atual e a temperatura de *dewpoint* estão mais próximas uma da outra, significa que o ar se encontra mais húmido; quando aquelas se encontram mais afastadas, é sinal de que o ar está mais seco. Neste caso, o sistema deverá ventilar a uma maior ou menor velocidade. Igualmente, uma ação semelhante pode ser usada quando são concebidos períodos típicos de funcionamento de instalação, por exemplo, em horas típicas de utilização de chuveiros, torneiras, etc., em casas de banho ou em habitações. O ventilador será então ligado quando é indispensável e com a velocidade adequada, racionalizando o consumo de energia e contribuindo para uma boa qualidade do ar interior.

No código de programação utilizam-se os valores de temperatura e de humidade relativa lidos pelo sensor através das funções *bme.readTemperature()* e *bme.readHumidity()*, respetivamente. Com a utilização da fórmula de Magnus, calcula-se a temperatura de *dewpoint*, T_d , seguindo-se o cálculo da diferença entre a temperatura atual e a temperatura de *dewpoint*, DT.

A variável *vPWM* representa o valor da saída PWM (entre 0 a 255) que é fornecido ao *driver* do ventilador. Na Figura 32, é apresentada a relação entre a referência fornecida ao controlador do ventilador e a sua velocidade. O intervalo de 0 a 255 resulta da resolução de 8 *bits* da saída PWM do *Arduino Uno*. Considera-se uma velocidade mínima distinta de zero para assegurar que quando o motor é ligado não ocorrem problemas no arranque.

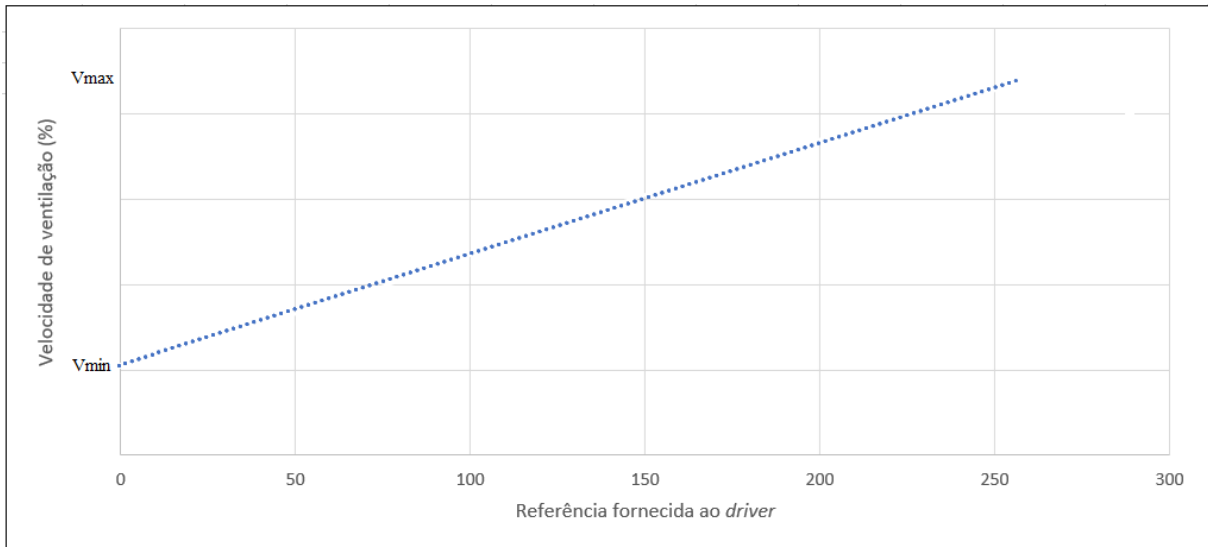


Figura 32 – Relação conceptual entre a referência fornecida ao *driver* e velocidade do ventilador

Considerando que a diferença entre temperatura atual e a temperatura *dewpoint* está dentro de um intervalo de 0 a 15°C, o *Arduino* enviará um sinal de valor proporcional a essa diferença, através da função `analogWrite(pwm,vPWM)`, como se pode constatar no código apresentado na Figura 33. A variável `vLCDpwm` é a conversão do sinal de saída em percentagem, para posterior representação no display e armazenamento na base de dados.

```
case 1:
{
  if (DT >= 0 && DT <= DTmax) {
    analogWrite(pwm, vpwmax);
  }
  if (DT >= DTmax && DT <= DTmin) {
    analogWrite(pwm, vpwm);
  }
  else {
    analogWrite(pwm, 0);
  }

  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print(vLCDpwm, 1);
  lcd.print("% ");
  lcd.setCursor(8, 1);
  lcd.print("2");
}
break;
```

Figura 33 - Componente do código referente ao modo Contínuo

No início do código (Figura 34) é possível definir `DTmax` e `DTmin` de forma a tornar o sistema mais flexível.

```
// DTs
#define DTmax 3
#define DTmin 14
```

Figura 34 - Definição dos valores de `DTmax` e `DTmin` no código de programação.

No modo de controlo discreto, são definidos quatro valores de velocidade, nomeadamente PRCNTG1, PRCNTG2, PRCNTG3 e PRCNTG4, correspondendo cada uma destas variáveis, por definição, à velocidade de 25%, 50%, 75% e 100%. No código de programação, estes valores podem ser alterados logo no seu início bastando, para isso, alterar apenas o valor registado à frente dos nomes das quatro referências de velocidade (Figura 35).

```
// VELOCIDADE
#define PRCNTG1 25
#define PRCNTG2 50
#define PRCNTG3 75
#define PRCNTG4 100
```

Figura 35 - Escolha de valores de velocidade no início do código

Esta alteração de valores é uma das características que torna o sistema mais flexível quando comparado com outros sistemas existentes no mercado. Uma indicação simples destas linhas de código permitirá a simples alteração dos parâmetros.

Os valores de referência de velocidade foram atribuídos a intervalos de diferença de temperatura em que o valor DT estará inserido. Dessa forma:

- Se DT estiver inserido no intervalo de [0 a 4 [°C, o ventilador funcionará a PRCNTG4.
- Se DT estiver inserido no intervalo de [4 a 8[°C, o ventilador funcionará a PRCNTG3.
- Se DT estiver inserido no intervalo de [8 a 12[°C, o ventilador funcionará a PRCNTG2.
- Se DT estiver inserido no intervalo de [12 a 15[°C, o ventilador funcionará a PRCNTG1.

Para evitar flutuações na comutação de velocidades de ventilação em função da diferença de temperaturas, introduziu-se no código do sistema uma histerese programável, que pode ser alterada pelo utilizador. O modo discreto com a introdução de histerese é representado no gráfico da Figura 36.

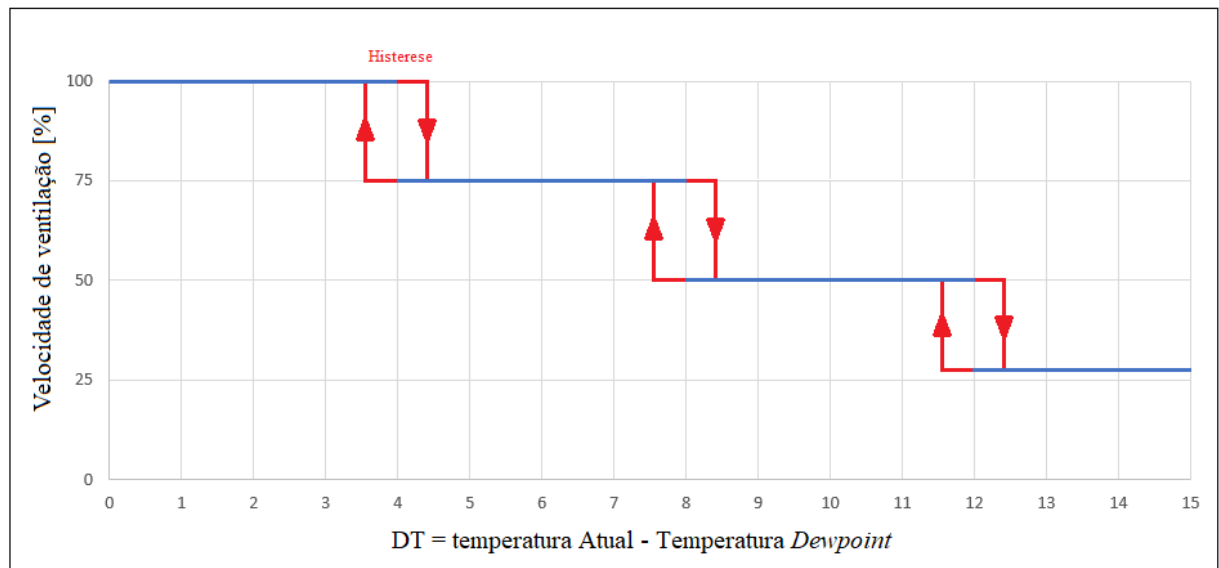


Figura 36 - Modo discreto

O código para definição do modo discreto de velocidade de ventilação está representado na Figura 37, onde, editando, se pode escolher os intervalos das diferenças de temperaturas e as velocidades referentes a cada intervalo.

```
case 2:

  lcd.setCursor(8, 1);
  lcd.print("1");

  if (DT >= 0 && DT < 4 - hist) {
    printPot(PRCNTG4);
  }
  else if (DT >= 4 + hist && DT < 8 - hist) {
    printPot(PRCNTG3);
  }
  else if (DT >= 8 + hist && DT < 12 - hist) {
    printPot(PRCNTG2);
  }
  else if (DT >= 12 + hist && DT <= 15 - hist) {
    printPot(PRCNTG1);
  }
}
```

Figura 37 - Código para definição do modo de controlo de ventilação

No modo de controlo “Horário”, o ventilador extrai ar num horário de ventilação escolhido que pode ser editado no início do código de programação, como representado na Figura 38.

```
// FLEXIBILDADE DE VALORES ( HORÁRIOS E POTÊNCIAS) //

// HORARIOS MODO 3

#define M3_START_HOUR_1 16
#define M3_START_MIN_1 00
#define M3_END_HOUR_1 17
#define M3_END_MIN_1 00

#define M3_START_HOUR_2 17
#define M3_START_MIN_2 00
#define M3_END_HOUR_2 19
#define M3_END_MIN_2 00

// HORARIOS MODO 4

#define M4_START_HOUR_1 16
#define M4_START_MIN_1 00
#define M4_END_HOUR_1 17
#define M4_END_MIN_1 00

#define M4_START_HOUR_2 17
#define M4_START_MIN_2 00
#define M4_END_HOUR_2 19
#define M4_END_MIN_2 00
```

Figura 38 – Código para definição do modo “horário”

Por definição, este modo estabelece dois horários, horário1 e horário 2, que correspondem a uma ventilação com os valores de velocidade PRCNTG1 e PRCNTG2, respetivamente. Este modo de funcionamento é útil e vantajoso para preparar o estado do ar ambiente dos períodos de tempo do dia com maior taxa de ocupação como acontece, por exemplo, num balneário de ginásio ou numa cantina. Ou seja, o modo Horário pode ser vantajoso em termos de eficiência energética e de qualidade do ar interior, pelo facto de poder atribuir diferentes intensidades de ventilação num determinado ambiente, em horas estratégicas. Por exemplo, imagine-se um balneário público de um ginásio onde o período de maior taxa de ocupação é entre as 18:00 e as 20 horas: programar a velocidade do ventilador para funcionar a uma velocidade inferior (25%) num período que antecede este (por exemplo entre as 17:00 horas e as 18:00 horas) e funcionar a uma velocidade média (50%) no horário de maior ocupação poderá ser mais eficaz do que ventilar à velocidade máxima nesse mesmo horário porque, além de poder economizar energia, o ambiente com maior qualidade do ar interior é preparado para quando esta é mais necessária. Este modo de funcionamento encontra-se representado no gráfico da Figura 39.

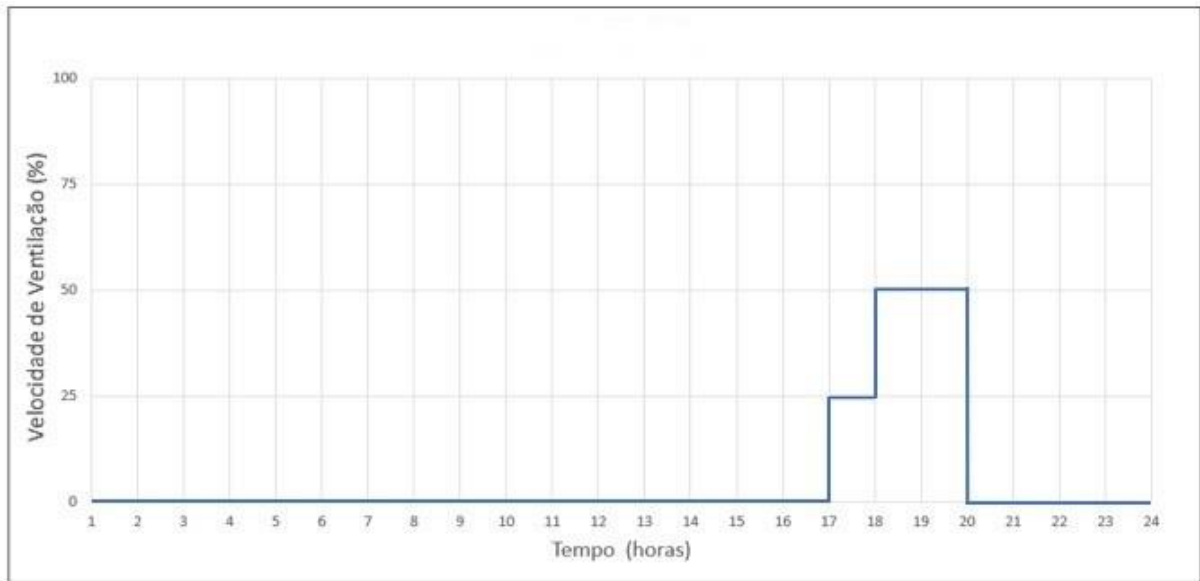


Figura 39 - Modo Horário

No código, é introduzida a definição do modo “Horário” como indicam as linhas de código na Figura 40, onde se pode editar e atribuir a velocidade de ventilação pretendida para cada período de tempo.

```

if (acceptedTime) {

    if (horario1) {
        Serial.print("Dentro do horário1");
        printPot(PRCNTG1);
    }
    else {
        Serial.print("Dentro do horário2");
        printPot(PRCNTG2);
    }
}

```

Figura 40 - Componente do código referente ao modo Contínuo-Horário

No modo Contínuo-Horário, quando a hora atual coincidir com um dos horários especificados para o Modo Contínuo-Horário (Modo 4) no início do código, o ventilador funcionará à velocidade referente a um dos dois horários. Caso contrário, o ventilador funcionará com base na equação usada no modo Contínuo, isto é, a velocidade de ventilação variará proporcionalmente com a diferença de temperatura DT.

A solução para o utilizador poder mudar o modo de funcionamento foi incorporar no sistema um recetor de infravermelhos e um pequeno comando (Figura 41).



Figura 41 - Recetor de infravermelhos e comando

O recetor interatua com o microcontrolador *Arduino Uno* através da entrada digital 8, como se pode ver no esquema da Figura 42.

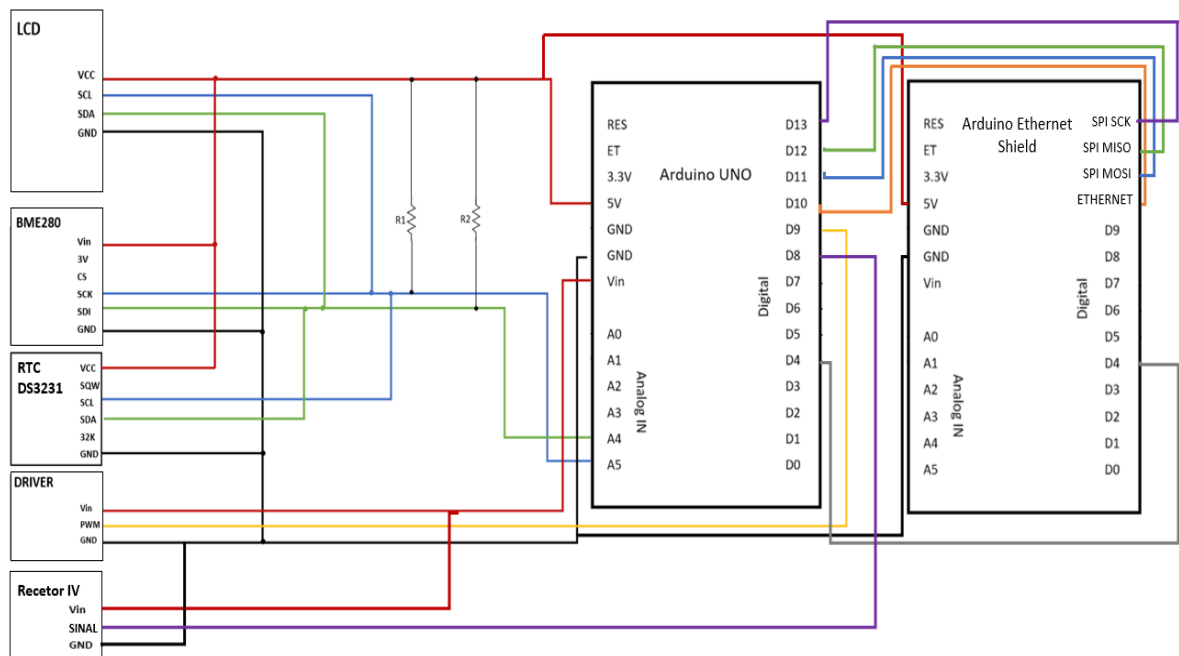


Figura 42 - Integração do recetor de infravermelhos

Desta forma, foi atribuído e associado um código de infravermelhos, associando botões de comando a cada modo de funcionamento (Figura 43), tornando assim possível ao utilizador introduzir o modo de funcionamento conforme ele entenda ser necessário.

```

if (irrecv.decode(&results)) {
    Serial.println(results.value, DEC);
    irrecv.resume(); // Receive the next value
}

if (results.value == 16724175) {
    modo = 1;
}

if (results.value == 16718055) {
    modo = 2;
}

if (results.value == 16743045) {
    modo = 3;
}

if (results.value == 16716015) {
    modo = 4;
}

```

Figura 43 - Componente do código referente à associação de modos de funcionamentos a códigos infravermelhos

5.4 Armazenamento em base de dados online

Por fim, o último requisito a implementar é criar a funcionalidade para o armazenamento de dados. No entanto, em alternativa ao armazenamento dos dados no cartão de memória micro SD, optou-se por gravar os dados numa base de dados alojada num servidor *online* disponibilizado pela FEUP, acessível por página *Web*. Esta solução exige que o controlador esteja ligado à *Ethernet*. Assim, os dados são acessíveis *online*, para uma mais fácil e melhor monitorização do ar ambiente. Para isso, criou-se uma base de dados em SQL com o *software SQLite*, pronta a armazenar os dados de temperatura, de humidade, de pressão, de *dewpoint*, de velocidade do ventilador, de data e de hora, como se pode verificar na Figura 44. Essa base de dados foi alojada no servidor *online* na área de trabalho pessoal (paginas.fe.up.pt/~up201306850/).

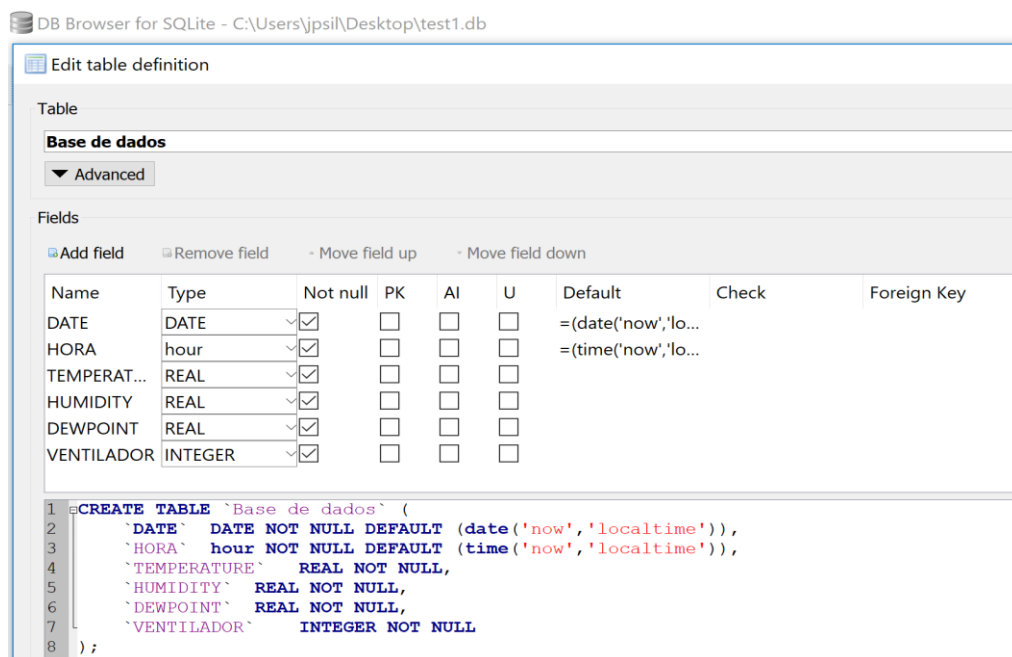


Figura 44 - Base de dados SQL

Para disponibilizar a informação da base de dados numa tabela acessível por página *Web*, criaram-se dois ficheiros *php* com o *software notepad++*. O primeiro ficheiro, *connect.php*, representado na Figura 45, contém um programa que liga a base de dados “basededados.bd” à página *Web*.

```

1  <?php
2
3      function Connection() {
4          class MyDB extends SQLite3 {
5              function __construct() {
6                  $this->open('test1.db');
7              }
8          }
9
10         $db = new MyDB();
11         if(!$db) {
12             echo $db->lastErrorMsg();
13         } else {
14             //echo "Opened database successfully\n";
15         }
16         return $db;
17     }
18  ?>

```

Figura 45 - Ficheiro *connect.php*

O segundo ficheiro, *index.php*, permite disponibilizar o conteúdo da base de dados na página *Web* e modificar a sua estrutura e aparência, através da linguagem *html*, como se pode ver na Figura 46. Além disso, com este ficheiro foi possível criar um motor de busca capaz de filtrar os registos de dados por data.

```

<html>
  <head>
    <title>Tese JPSilva</title>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="main.css">
    <link rel="stylesheet" href="//code.jquery.com/ui/1.12.1/themes/base/jquery-ui.css">
    <script src="https://code.jquery.com/jquery-1.12.4.js"></script>
    <script src="https://code.jquery.com/ui/1.12.1/jquery-ui.js"></script>
  </script>

```

Figura 46 - Ficheiro *index.php*

Para a ligação do *Arduino* à base de dados, foi criado um último ficheiro *add.php*, a fim de acrescentar os valores à tabela, sendo estes provenientes das leituras do sensor ligado ao referido microcontrolador, através de uma função GET [] (Figura 47).

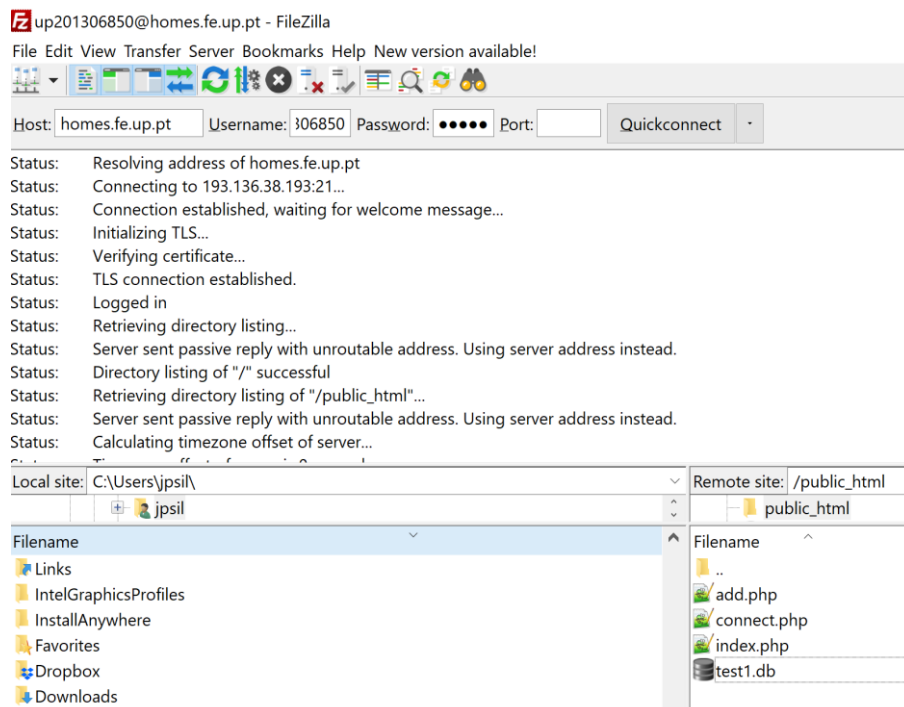
```

1 <?php
2 include("connect.php");
3
4 $link=Connection();
5
6 $temp=$_GET["temp"];
7 $hum=$_GET["hum"];
8
9 if(isset($_GET["dew"]))
10     $dew = $_GET["dew"];
11 else
12     $dew = 0;
13
14 if(isset($_GET["vent"]))
15     $vent = $_GET["vent"];
16 else
17     $vent = 0;
18
19
20 $statement = $link->prepare('INSERT INTO SENSOR (TEMPERATURE, HUMIDITY, DEWPOINT, VENTILADOR) VALUES (:t, :h, :d, :v);');
21 $statement->bindValue(':t', $temp);
22 $statement->bindValue(':h', $hum);
23 $statement->bindValue(':d', $dew);
24 $statement->bindValue(':v', $vent);
25
26
27 $result = $statement->execute();
28
29 header("Location: index.php");
30 ?>

```

Figura 47 - Ficheiro *add.php*

Com o auxílio da aplicação *Filezilla* (Figura 48) é possível alojar os 4 ficheiros referidos anteriormente no servidor *online*.

Figura 48 - Alojamento dos 4 ficheiros no *Filezilla*.

No código do microcontrolador *Arduino*, a componente referente ao envio dos dados de temperatura, de humidade relativa, de pressão, de temperatura de *dewpoint* e de velocidade de ventilação para a base de dados alojada no servidor está representada na Figura 49.

```
// Se conectar imprimir:
if (client.connect(server, 80)) {
  Serial.println("connected");
  Serial.println("Requesting: GET /~up201306850/add.php?temp=" + temperature + "&hum=" + humidity + "&pre=" + pressao + "&dew=" + Dewpoint + "&vent=" + PT );
  // Make a HTTP request:
  client.println("GET /~up201306850/add.php?temp=" + temperature + "&hum=" + humidity + "&dew=" + Dewpoint + "&vent=" + PT);
  client.println("Host: paginas.fe.up.pt");
  client.println("Connection: close");
  client.println();
  client.stop();
} else {
  // se não se obter conexão ao servidor:
  Serial.println("connection failed");
}
```

Figura 49 - Componente do código referente ao envio de dados para a base de dados

Por fim, o aspeto final da página *Web* que disponibiliza os dados armazenados é o representado na Figura 50, que também permite filtrar os dados por data.

Controlo e Monitorização de um Ventilador

JPSilva LIM 2016/2017

Pesquisar data

Data Inicial Data Final

Data	Hora	Temperatura(°C)	Humidade(%)	Dewpoint(°C)	Ventilador(%)
2017-06-23	18:07:48	26	46	15	13
2017-06-23	18:08:04	26	46	0	0
2017-06-23	18:10:11	26	46	0	0
2017-06-23	18:37:40	27.8	51.7	16	50
2017-06-23	18:37:44	27.8	51.5	16	50
2017-06-23	18:37:48	27.8	51.5	16	50
2017-06-23	18:37:51	27.8	51.5	16	50
2017-06-23	18:37:55	27.8	51.4	16	50
2017-06-23	18:37:58	27.8	51.4	16	50
2017-06-23	18:38:02	27.8	51.4	16	50
2017-06-23	18:38:06	27.8	51.4	16	50

Figura 50 - Aspeto final da página *Web*

5.5 Conclusão

Neste capítulo, foram referidas as principais componentes do código do sistema e o local onde se podem editar as velocidades do ventilador e horários utilizados. Explicaram-se quais são as funções principais usadas para as ações de controlo e de armazenamento de dados, assim como a forma como são disponibilizados os valores em tempo real no *display* LCD. Além disso, foram detalhados todos os quatro modos de funcionamento do ventilador e referida a solução usada para armazenamento *online* de dados (em base de dados).

6 Testes experimentais

6.1 Introdução

Neste capítulo descrevem-se testes que relacionam a referência digital gerada pelo microcontrolador para controlo do driver (que passaremos a designar por referência ao Driver) com a velocidade de rotação do ventilador em rpm.

O primeiro tipo de teste permite aferir a função que relaciona o sinal de referência ao *driver* com a velocidade do ventilador em rpm, usando um tacómetro ótico UT371 da UNI-T. O segundo tipo de ensaios compreende a utilização do sistema numa casa de banho doméstica de pequenas dimensões, para monitorização do ar ambiente, usando os diferentes modos de funcionamento para controlo da ventilação implementados e sem o ventilador.

6.2 Teste de aferição da relação Referência/Velocidade do ventilador

No sistema concebido, existem modos de funcionamento para controlo da ventilação que permitem variar continuamente a velocidade do ventilador, entre uma velocidade máxima e uma velocidade mínima. Para determinar a relação entre a referência ao driver e a velocidade de rotação do ventilador, recorreu-se ao uso de um tacómetro ótico para medição das rotações por minuto. Para isto, colou-se uma pequena fita refletora perto de uma das pás do ventilador e fixou-se o *laser* do tacómetro direcionado para essa mesma fita (Figura 51).

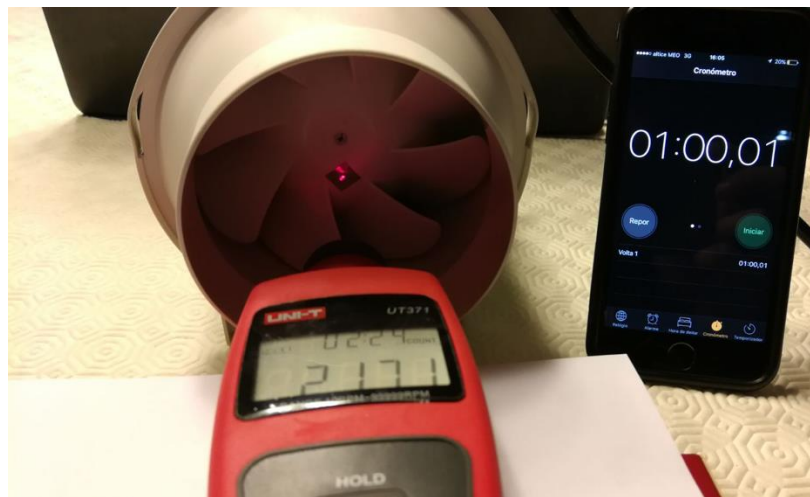


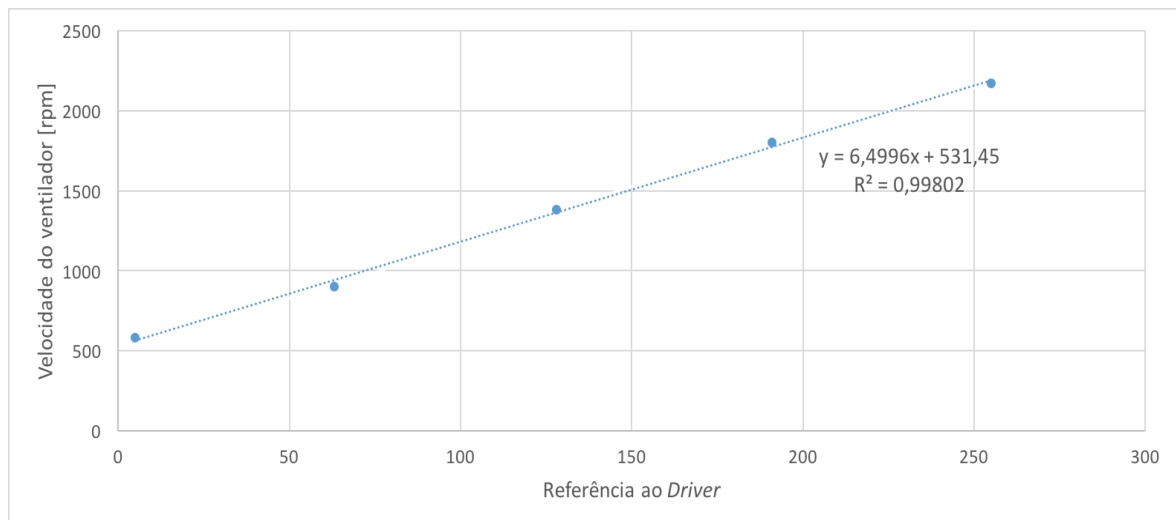
Figura 51 - Medição de velocidade em rpm com tacómetro ótico

Para a determinação da velocidade, utilizaram-se cinco valores de sinal de referência para o *driver*, respetivamente, 5, 63, 128, 191 e 255. Para cada valor do sinal de referência ao *driver* realizaram-se cinco testes para determinação da velocidade de rotação do ventilador (Tabela 6).

Tabela 6 - resultados do teste para determinação de velocidade de ventilação

Teste para determinação da velocidade do ventilador						
Sinal	Velocidade do ventilador [rpm]					Valor médio [rpm]
255	2204	2131	2152	2177	2191	2170
191	1784	1805	1815	1813	1789	1800
128	1374	1389	1375	1382	1377	1380
63	893	907	902	900	898	900
5	585	573	579	571	589	580

Desta forma, torna-se possível saber a velocidade máxima e mínima do ventilador e perceber que esta varia com o sinal de referência do *driver*, tal como se observa no gráfico da Figura 52.

Figura 52 - Gráfico da conversão de sinal de referência ao *driver* em velocidade em rpm.

6.3 Ensaio de utilização do sistema

Para testar o sistema, realizaram-se três ensaios numa casa de banho doméstica com dimensões de 1,5 x 1,5 x 2,5 metros, ou seja, com um volume total de $5,625 \text{ m}^3$ (Figura 53).

O espaço para realização de testes é apropriado dado que o ventilador tem uma capacidade de renovar/extrair de $180 \text{ m}^3/\text{h}$. Logo, para renovar/extrair $5,625 \text{ m}^3$ serão necessários 3,4 minutos. A experiência consistiu na abertura da torneira de água quente disponível durante 5 minutos, de maneira a formar vapor de água e realizar os seguintes ensaios:

- Ensaio 1: Sistema com ventilador desligado, apenas em função de monitorização;
- Ensaio 2.1: Sistema a funcionar em modo contínuo em que $DT_{max_1} = 7$ e $DT_{min_1} = 12$;
- Ensaio 2.2: Sistema a funcionar em modo contínuo em que $DT_{max_2} = 10,5$ e $DT_{min_2} = 12$;
- Ensaio 3: Sistema a funcionar em modo discreto.



Figura 53 - Casa de banho doméstica usada em ensaios

No Ensaio 1, ligou-se o sistema às 14:50 e armazenou-se a informação na base de dados, tendo-se obtido os resultados registados na tabela 7:

Tabela 7 - Resultados do Ensaio 1.

Resultados Ensaio 1					
Hora	Temperatura (°C)	Humidade R. (%)	Temperatura de Dewpoint (°C)	DT (°C)	Velocidade do ventilador (%)
14:50	22,7	52,5	12,5	10,2	-
14:51	22,7	52,9	12,6	10,1	-
14:52	22,8	55,7	13,5	9,3	-
14:53	23,0	58,7	14,5	8,5	-
14:54	23,2	60,3	15,1	8,1	-
14:55	23,7	66,6	17,1	6,6	-

Neste ensaio verificou-se que em 5 minutos, sem qualquer tipo de ventilação, houve um incremento da temperatura de aproximadamente 1 °C e de 14,1 % na humidade. A temperatura de *dewpoint* foi aumentando e a diferença de temperaturas (DT) diminuindo (10,2 a 6,6), o que significa que, de facto, o ar se tornou significativamente mais húmido.

No Ensaio 2.1, depois do ar ambiente voltar às condições iniciais, ligou-se o sistema às 15:15 e armazenou-se a informação na base de dados com o modo contínuo ativo. Os parâmetros de DTmax e DTmin usados foram respetivamente 7 e 12°C. Obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 – Resultados do Ensaio 2.1

Resultados Ensaio 2.1					
$DTmax_1 = 7$			$DTmin_1 = 12$		
Hora	Temperatura (°C)	Humidade R. (%)	Temperatura de <i>Dewpoint</i> (°C)	DT (°C)	Velocidade do ventilador (%)
15:15	22,5	52,0	12,1	10,4	50,2
15:16	22,7	52,3	12,4	10,3	51,6
15:17	22,9	52,8	12,7	10,2	53,1
15:18	22,9	53,1	12,8	10,1	54,5
15:19	23,0	55,6	13,6	9,4	64,8
15:20	23,0	54,4	13,3	9,7	63,4

Neste ensaio constatou-se que em 5 minutos, com o modo contínuo ativo, houve um incremento máximo da temperatura de aproximadamente 0,5°C e de 3,6 % de humidade durante a experiência, revelando uma diferença significativa em comparação com o ensaio 1 quando o ventilador se encontrava desligado, reduzindo o valor da humidade em 12,2%. A diferença de temperatura chegou a um mínimo de 9,4 (entre DTmax e DTmin), o que fez com que a velocidade máxima do ventilador nesta experiência fosse 64,8%.

No Ensaio 2.2, ligou-se o sistema às 15:40 e armazenou-se a informação com o modo contínuo ativo. Alteram-se os valores de DTmax e DTmin para 10,5 e 12 respetivamente para testar mais um modo de funcionamento de controlo depois de se saber entre que intervalo andariam compreendidos os valores do ar ambiente na casa de banho. Isto é, sempre que DT for menor que 10,5 o ventilador funcionará à sua velocidade máxima. Obtiveram-se os seguintes resultados (Tabela 9):

Tabela 9- Ensaio 2.2

Resultados Ensaio 2.2					
$DT_{max_2} = 10,5$			$DT_{min_2} = 12$		
Hora	Temperatura (°C)	Humidade R. (%)	Temperatura de <i>Dewpoint</i> (°C)	DT (°C)	Velocidade do ventilador (%)
15:40	22,2	52,1	11,5	10,6	47,2
15:41	22,4	52,4	11,9	10,5	48,7
15:42	22,7	52,9	12,2	10,3	100
15:43	22,7	53,1	12,6	10,1	100
15:44	22,7	53,2	12,7	10	100
15:45	22,8	53,7	12,9	9,9	100

Neste ensaio constatou-se que o incremento de temperatura foi de 0,6°C, e a humidade aumentou apenas 1,6 %. Verificou-se uma redução de aumento de humidade com a mudança dos parâmetros com DTmax e DTmin. Inicialmente, enquanto a diferença de *dewpoint* foi igual ou superior a 10,5, a velocidade do ventilador foi aproximadamente de 50% e obteve -se um aumento de humidade de 0,8% em 2 minutos. Já quando a diferença de temperatura foi inferior a 10,5, o ventilador funcionou à sua velocidade máxima e a humidade aumentou 0,6% em três minutos. O que demonstra que com este modo de funcionamento há de facto uma melhoria no que diz respeito ao controlo de redução de humidade.

No Ensaio 3, o sistema foi ligado no modo discreto ativo às 16:30 horas e este armazenou a informação. Definiu-se no sistema que para este ensaio, sempre que DT estivesse compreendido no intervalo de valores observados nos ensaios anteriores (ente 7 a 12), o ventilador funcionaria a 75% da sua velocidade. Obtiveram-se os seguintes valores da Tabela 10:

Tabela 10 - Resultados do Ensaio 3

Resultados Ensaio 3					
Hora	Temperatura (°C)	Humidade R. (%)	Temperatura de <i>Dewpoint</i> (°C)	DT (°C)	Velocidade do ventilador (%)
16:30	22,2	52,2	11,9	10,3	75
16:31	22,3	52,3	12,0	10,3	75
16:32	22,5	52,7	12,3	10,2	75
16:33	22,7	53,0	12,6	10,1	75
16:34	22,8	53,4	12,8	10	75
16:35	22,8	54,1	13,0	9,8	75

Constatou-se então que em 5 minutos, com o modo discreto ativo, houve um incremento da temperatura de aproximadamente 0,6 °C e 1,9 % de humidade. O incremento de temperatura foi da mesma ordem que no ensaio 2.2 e foi obtido menos 0,4% de humidade. Com isto pode-se tirar a conclusão que neste espaço e com as condições descritas, a diferença entre ventilar

constantemente e a 75% ou com o modo contínuo com DTmax e DTmin a 10,5 e 12, respetivamente, é pouco significativa. Este tipo de conclusões poderá permitir escolher mais eficazmente o melhor modo de funcionamento a implementar num espaço, por exemplo, para reduzir consumos ou ter o ventilador a funcionar com menos ruído.


6.4 Conclusões

Neste capítulo, deu-se conta dos testes realizados para a determinação da velocidade de exaustão do ventilador e dos ensaios de utilização do sistema, explorando a sua flexibilidade ao permitir o ajuste de parâmetros e modos de funcionamento.

Com o tacómetro ótico tornou-se possível determinar a velocidade mínima e a velocidade máxima de ventilação correspondentes a 580 e 2170 rpm, respetivamente, o que parece fiável, visto que a velocidade descrita nas características do ventilador é de 2500 rpm.

Os ensaios realizados na casa de banho doméstica permitiram concluir que com diferentes modos de funcionamento para controlo da ventilação resultam em diferentes valores de temperatura e de humidade relativa. A tabela 11 resume os resultados dos ensaios realizados na casa de banho doméstica.

Tabela 11 - Resumo de resultados dos ensaios realizados.

	Estratégia de controlo	Temperatura Inicial	Temperatura final	Humidade inicial	Humidade final	Aumento de temperatura	Aumento de humidade	Velocidade máxima	Velocidade mínima
Ensaio 1		22,7°C	23,7°C	52,5 %	66,6 %	1°C	14,1 %	-	-
Ensaio 2.1	Modo contínuo	22,5°C	23,0°C	52,0 %	54,4 %	0,5°C	3,6%	63,4 %	50,2%
	DTmax: 7 DTmin: 12								
Ensaio 2.2	Modo contínuo	22,2°C	22,8°C	52,2 %	53,7 %	0,6°C	1,6%	100%	47,2%
	DTmax: 10,5 DTmin: 12								
Ensaio 3	Modo Discreto	22,2°C	22,8°C	52,2 %	54,1 %	0,6°C	1,9%	75%	75%

Comprovou-se, assim, que a flexibilidade do sistema para ajuste dos parâmetros e modos de funcionamento pode conduzir, em função dos resultados, à definição da solução que melhor se ajustar às necessidades de utilização.

7 Conclusões e trabalhos futuros

7.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido cumpriu todos os objetivos inicialmente propostos, isto é, após a conceção inicial, foi delineada uma solução e desenvolvido um sistema capaz de controlar a qualidade do ar ambiente em divisões domésticas, através do controlo de um ventilador doméstico de forma autónoma, adequando-se às necessidades em tempo real e armazenamento de informação para posterior monitorização e estudo do efeito das ações de controlo implementadas.

Este sistema permitiu ainda provar que é possível usar soluções simples e não dispendiosas que podem ser concebidas para controlar ventiladores domésticos, conseguindo melhorar o controlo da qualidade do ar interior e assim, a sua qualidade. Foi também possível criar um armazenamento numa base de dados *online* de fácil implementação, em alternativa ao armazenamento num cartão de memória micro SD. Em comparação com os sistemas já disponíveis, aquele que foi concebido oferece a vantagem de ser tão flexível que permite selecionar a velocidade de ventilação, em percentagem, para 3 dos 4 modos de funcionamento que oferece.

O controlo gradual e automático da velocidade de exaustão do ventilador em função dos parâmetros de temperatura, de humidade relativa e da data e hora através de modos de funcionamento de controlo da velocidade de ventilação por PWM foi conseguido.

O projeto e realização de uma placa PCB para o *hardware* eletrónico e a inclusão de todo este sistema numa caixa permitiu tornar o sistema compacto e protegido, conferindo-lhe boas características de portabilidade.

A monitorização via *Web* permitiu melhorar o armazenamento de dados, na medida em que tornou possível aceder a todo o histórico de dados através de qualquer dispositivo com acesso à Internet (o que atualmente não é, em geral, problemático), sem depender de um cartão de memória micro SD, de um adaptador ou de um computador para ter acesso aos dados.

Cumpriu-se assim o objetivo último da dissertação que consistia em desenvolver um sistema que viabilizasse a possibilidade de testar e monitorizar a qualidade do ar ambiente em espaços domésticos e ainda que permitisse explorar diferentes modos de funcionamento para controlo da ventilação já integradas ou permitindo a integração de outras que se sigam.

O projeto foi realizado com empenho e com gosto dado que os requisitos estabelecidos aquando da formulação dos objetivos foram alcançados com sucesso, o que constituiu um desafio aliciante.

7.2 *Trabalhos Futuros*

O trabalho realizado permitiu a conceção de uma prova de conceito funcional que pode ser complementada e melhorada com o desenvolvimento de trabalhos futuros, entre os quais se podem destacar os seguintes:

- Adicionar mais sensores ao sistema, como sensores CO₂, para medir valores de ocupação, sensores para medir VOCs, para se conseguir um controlo mais eficaz da qualidade do ar interior e ainda estender o sistema para dois sensores, um exterior e um interior para permitir outros modos e funcionamento para controlo da ventilação;
- Incorporar um LCD maior para disponibilizar mais informação como a temperatura de *dewpoint* e a diferença entre a temperatura atual e a temperatura de *dewpoint*, DT;
- Fazer um estudo de eficiência energética deste sistema tendo em conta o equilíbrio entre nível de controlo de parâmetros/consumo/ruído.

8 Referências

- [1] Agência Portuguesa do Ambiente, "Qualidade do Ar em Espaços Interiores," Ficha Técnica, março 2009. Disponível em:
https://www.apambiente.pt/zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/manual%20QArInt_standard.pdf , acedido em: março 2017
- [2] United States Environmental Protection Agency, "Introduction to Indoor Air Quality", abril 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality> , acedido em: abril 2017
- [3] Tiago Araújo, "Ambiente e Qualidade do ar", março 2009. Disponível em: http://www.fundacaoportuguesadopolmao.org/ambiente_interior.html , acedido em: março 2017
- [4] Portal Eficiência Energética, "Eficiência Energética", março 2010. Disponível em: <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/conceitos.html> , acedido em: março 2017
- [5] Adene, "Eficiência Energética", março 2017. Disponível em: <http://www.adene.pt/eficiencia-energetica> , acedido em: março 2017
- [6] ARECO, "All you need to know about demand controlled ventilation", março 2017. Disponível em: <https://www.aereco.com/technology/demand-controlled-ventilation/> , acedido em abril 2017
- [7] Leviton, "Leviton IPHS5-1", abril 2017. Disponível em: <https://store.leviton.com/products/humidity-sensor-and-fan-control-single-pole?variant=18216615427> , acedido em: abril 2017
- [8] Growland, "GSE Digital Fan Controller (Temp. & Humidity Control)", março 2017. Disponível em: <https://www.growland.biz/GSE-Digital-fan-controller-relative-humidity-temperature-controller-vacuum-set> , acedido em abril 2017
- [9] Soler Palau, "Elementos inteligentes para demanda controlada de ventilación", março 2017. Disponível em: http://www.airexconcepcion.cl/archivos/ficha_tecnica/145/es_9_15_935_acces_electricos_dcv_fid6933.pdf , acedido em: abril 2017
- [10] P. Lemens, "CB! TAC3 FULL", novembro 2011. Disponível em: http://www.aeria-france.fr/media/notice_cb_1_tac3_full_012185900_1556_19112010.pdf , acedido em: abril 2017
- [11] Prosino Group, "Temperature and Humidity Controller – A-TH6", maio 2015. Disponível em: <http://prosinogroup.com/product-item/temperature-and-humidity-controller/> , acedido em abril 2017
- [12] Systemair, "EC-Vent", abril 2017. Disponível em: <https://www.systemair.com/en-GB/UK/products/fans--accessories/electrical-accessories-ventilation/speed-controls-electronic/ec-vent/> , acedido em abril 2017

- [13] SIEMENS, “Synco 200 Universal Controller RLU2 basic Documentation”, julho 2004. Disponível em: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_s_luzby/IBT/mereni_a_regulace/regulatory/synco_200/Documents/15013_P3101en.pdf, acessado em abril 2017
- [14] Arduino, “*Arduino Uno*”, Maio 2011. Disponível em : <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>, acessado em abril 2017
- [15] Maximo Banzi, “*Getting started with Arduino, Makebooks*”, O'Reilly Media Publisher, ISBN: 978-1449309879, March 2011
- [16] Adafruit, “*Adafruit BME280 I2C or SPI Temperature Humidity Pressure Sensor*”, março 2017. Disponível em: <https://www.adafruit.com/product/2652>, acessado em: abril 2017
- [17] ELECTROFUN, “*Display LCD 16x2 I2C*”, abril 2017. Disponível em: <https://www.electrofun.pt/display/display-lcd-i2c>, acessado em: abril 2017
- [18] FILIPEFLOP, “*Real Time Clock RTC DS3231*”, março 2017. Disponível em: <http://www.filipeflop.com/pd-1c7dbf-real-time-clock-rtc-ds3231.html>, acessado em: abril 2017
- [19] S. Graham, “*Relative Humidity vs Dewpoint*” *WeatherWorks*, Agosto 2016. Disponível em: <https://www.weatherworksinc.com/humidity-vs-dewpoint>, acessado em: abril 2017
- [20] Mark G. Lawrence, “*The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications*,” *American Metereological Society*, DOI:10.1175/BAMS- 86-2-225, pp.225-233, Fevereiro 2005
- [21] Airtest Technologies inc, “*Measuring the right thing for humidity Control...It's the dewpoint Stupid*”. Disponível em: <http://airtest.com/support/reference/dpstupid.pdf>, acessado em: abril 2017